



## **GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA**

### **TRABAJO FINAL DE GRADO**

---

# **SISTEMAS DE VISUALIZACIÓN 3D: ESTEREOSCOPIOS Y SISTEMAS VOLUMÉTRICOS**

**ALFREDO RODRÍGUEZ IGLESIAS**

JOSE LUIS ÁLVAREZ MUÑOZ  
DEPARTAMENTO DE ÒPTICA Y OPTOMETRIA



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

El/la Sr./Sra. Jose Luis Álvarez Muñoz, como tutor/a del trabajo y el /la Sr./Sra. Jose Luis Álvarez Muñoz como director/a del trabajo

### CERTIFICAN

Que el/la Sr./Sra. Alfredo Rodríguez Iglesias ha realizado bajo su supervisión el trabajo Sistemas de Visualización 3D: Estereoscopios y Sistemas Volumétricos recogido en esta memoria para optar al título de grado en Óptica y Optometría.

Y para que conste, firmo/firmamos este certificado.

Sr/Sra. Jose Luis Álvarez Muñoz  
Tutor/a del trabajo

Sr/Sra. Jose Luis Álvarez Muñoz  
Director/a del trabajo

Terrassa, 12 de Junio de 2019



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

### SISTEMAS DE VISUALIZACION 3D: ESTEREOSCOPIOS Y SISTEMAS VOLUMETRICOS

#### RESUMEN

Los seres humanos tenemos la consciencia de experimentar una única imagen en nuestra visión con la utilización de nuestros ojos y gracias a dos imágenes planas proyectadas en nuestras retinas podemos obtener una única con muchísima mas información y así experimentar una realidad tridimensional de objetos, paisajes y demás.

La disparidad retiniana es la clave mas importante que utilizamos para la visión de la profundidad ya que forma la mejor referencia para la visión estereoscópica basándose en el hecho de que los campos visuales de los dos ojos se solapan.

Los sistemas de visualización 3D son aquellos que nos permiten observar imágenes y entornos en tres dimensiones con la utilización de artilugios inventados desde tiempos de 1836 como el primer estereoscopio de Wheatstone y posteriores evoluciones hasta llegar a sistemas modernos como la visualización con gafes anaglíficas, polarizadas e incluso la visualización en 3D a simple vista como las pantallas 3D o pantallas volumétricas en las cuales se pueden observar imágenes desde distintos ángulos. Aunque en este ultimo campo se sigue avanzando hasta llegar a poder proporcionar videoconferencias o imágenes interactivas 3D en un futuro.





## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

### SISTEMAS DE VISUALIZACION 3D: ESTEREOSCOPIOS Y SISTEMAS VOLUMETRICOS

#### SUMARY

Humans experiment one unique image in our vision with both eyes. With two flat images produced in our retina, our brain achieve a unique image and a lot of additional information. We experiment a tridimensional reality of the objects. Some characteristics we can perceive refer to the volume, the depth, the three dimensional aspects, etc.

The retinian disparity is the main key we use for the depth vision. It lets us see in three dimensions. It's the best reference for the stereoscopic vision. It is based in the fact that visual fields of both eyes overlap. 3D visual systems are the instruments which let us watch images and their environment in three dimensions using different devices invented since 1836. The first, which was created was the Wheatstone stereoscope. Later, it has been developed introducing new changes until today. There have appeared new devices. Some examples are anaglyphic glasses, polarized glasses and 3D screens.

The three dimensions screens can be watched without any special glasses, they don't need any special support. In this 3D screens, images can be observed from different angles. In this field, investigators are still working and have a lot of work to do. Their main objective is to supply videoconferences or 3D interactive images in the future.



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

### SISTEMAS DE VISUALIZACION 3D: ESTEREOSCOPIOS Y SISTEMAS VOLUMETRICOS

#### RESUM

El éssers humans tenim la consciència d'experimentar una única imatge en la nostra visió amb la utilització dels nostres ulls i gràcies a dues imatges planes projectades a les nostres retines, podem obtenir una única imatge amb moltíssima més informació, i així experimentar una realitat tridimensional d'objectes, paisatges i demés.

La disparitat retiniana és la clau més important que utilitzem per a la visió de la profunditat ja que forma la millor referència per a la visió estereoscòpica basant-se en el fet de que els camps visuals dels dos ulls se solapen.

Els sistemes de visualització 3D són aquells instruments que ens permeten observar imatges i l'entorns en tres dimensions. Necessàriament, es va haver de començar a veure amb 3D amb la utilització d'artilugis inventats desde els temps de 1836, com el primer estereoscopi de Wheatstone i posteriors evolucions fins a arribar a sistemes

Moderns com la visualització amb ulleres anaglífiques, polaritzades i fins i tot, la visualització en 3D, a simple vista com les pantalles 3D o pantalles volumètriques, en les que es poden observar imatges des de diferents angles.

Encara que en aquest últim camp, se segueix avançant fins a arribar a poder proporcionar videoconferències o imatges interactives 3D en un futur.

## ABSTRACT.

Humans experiment one unique image in our vision with both eyes. With two flat images produced in our retina, our brain achieves a unique image and a lot of information more. We experiment a three-dimensional reality of the objects. But, how do we do that?

Each eye has a different perspective (binocular parallax). The brain will transform the information to calculate the distance where objects are by means of this technique: parallax.

There are lots of different mechanisms which contribute to obtain three-dimensional information. As I have already said, the binocular parallax; the lights and shadows distribution, which helps the brain knowing information relative to the volume; the images superposition; the perspective; the normal diplopia; parallax in movement, when the observer moves in a specific direction, the observer has the impression that the objects seen move in the opposite direction.

The retina disparity is the main key used for the three-dimensional vision. It's the main reference for the stereoscopic vision. It is based in the fact that visual fields of both eyes overlap.

The stereoscopic vision is a binocular vision attribute with objects depth can be perceived. This is the reason why the stereoscopes are systems that let have one unique image produced by two slightly different two-dimensional images, one for each eye. First, the stereopsis is the property which our brain creates the three-dimensional vision from each eye perception. This perception is almost the same, but not exactly. Our brain also, with this characteristic, calculates distances, volume and the objects depth. Euclides was the first mathematic who got information about this property. Exactly, he discovered that the brain is the one which join our eye images to know about the depth. Some years later, Alhacén linked this depth sensation studied by Euclides with the binocular convergence. In the Renaissance, Leonardo Da Vinci, hit the target with the development of the PERSPECTIVA RECTILINEA and be able to get more realistic painting. In 1838, Charles Wheatstone produced the first optical machine which let watching three-dimensional images from flat images. It is called stereoscopic. Later, David Brewster modified the first stereoscope and made the lenticular stereoscope. It contained two binoculars and a light entrance in the top. It was an instrument which could be commercialized.

A new progress arrived in this field with the creation of anaglyph. It was created by the German physicist Willem Rollmann. This new instrument let project images on the screen. More specific, it projected a couple of flat images, one of each colour, red and blue, in order to mix them. In consequence, they can be seen with specific glasses. They contained chromatic filters. The result was a three-dimensional effect.

Some years later, Holmes created the stereoscope.

Nowadays, the 3D is very frequent in cinemas. For this reason, now I am going to explain about this.

Different stereoscopic visualization systems exist. Some examples are: the parallel vision. The observer has to focus his attention in a point situated in the infinite, while the visual axis are parallels. Another example is the crossed vision. In this case, as its name indicates, the visual axis are crossed. The point which has to be focused in this case is nearer than before, the left eye is seeing the right image and the right eye is seeing the left image.

The anaglyph is another system. This is based in that the two dimensional images create a three-dimensional effect when you watch de images with special lenses. They use coloured filters, as red-blue or red-green filters.

Some years later, polarization appeared. It's a process in which the light which is used is polarized. It separates the left image from the right image without changing the colours when the images are projected at the same time. Some examples which use this system are: REAL 3D, Dolby 3D system and XpanD 3D system. The active stereo is a process in which two different images are shown by a monitor in an alternative way. The refresh rate is enough. Consequently, glasses with liquid crystal lenses have to be used. They become darker at the same time as the monitor does.

Another method is the ECLIPSE. It consists of a monitor which changes the images situated on the left side and on the right side. It opens and closes the SINCRONIZACION VISOR with the images in the monitor. This system has a drawback: each person who uses this method has to wear heavy glasses, which have a high cost. In contrast, it doesn't require silver monitors for the projected images.

Some years later, the interference filters technology appeared. This technology uses specific wavelengths: different red, green and blue for the right eye and for the left eye. The glasses filter this specific wavelengths which let the observer watch in a three-dimensional way. It has a clear advantage: it reduces the high cost which silvers monitors have, used in other systems, as the polarization system, for example, the RealD, which is one of the most frequent used in cinemas. However, glasses are very expensive. Some examples which use this kind of technology are: Omega3D and Panavision 3D. They use a large spectre because they uses spectre bands, specific for each eye. Then, it isn't necessary to process in colour the images. Moreover, some relaxed sensation is produced. This is because the light energy and the colour balance is 50-50.

Another 3D system is the auto stereoscope. Nintendo 3DS uses this kind of technology. It uses the auto stereoscopic parallax barrier, in which itis unnecessary the use of glasses. The lenticular technology and parallax barrierimply using two or more images in the same paper, in narrow and alternative strips. It is necessary to use monitors which block one of the two strips (parallax barrier) or uses the narrow lenses in order to double the images strips. Then, it seems that you fill all the image, this case is in the LENTICULAR IMPRESSIONS. To be able to have the stereoscopic effect, the observer has to be in a specific point: one eye has to watch one image and the other eye, has to see the other image.

Autoestereogram is another method. It consists of a unique image stereogram designed in order to create the visual illusion of a three-dimensional scene from a two-dimensional image. To notice three-dimensional shapes, the brain has to mix between the convergence and the focus.

Volumetric visualization is another method, in which are involved the 3D volumetric monitors, which use a physical mechanism to show the light points inside a volume. This monitors can be decomposed in monitors with different flats. They have different flats piled up or, they can turn and create a volume.

As I mentioned before, different holographic monitors exist. They are able to represent in three dimensions static and dynamic models. One example of this different monitor is the Looking Glass. It's a monitor formed by translucent sheets superimposed. In order to project

the image in the correct way, first it has to be processed and then, the light projects in the specific way that the image appears in different reflecting surfaces, obtaining a three-dimensional sensation. It has volume and depth. It contributes that different people situated in different angles can see in 3D.

Another machine is the interactive monitor. It has a 360° light field. It is a group of techniques to a stereoscopic monitor. It generates three-dimensional 360° graphics, surrounding a monitor. It has two components: high velocity video projector (1.440 photograms/second) and a revolving mirror, covered by a holographic diffuser, inclined at 45°. It is like this to reflex the light rays proceeding the projector to all the possible viewing positions of all the device.

The holographic monitors are related to the volumetric systems. This kind of monitors are created by a computer, which has the ability to produce mechanisms: binocular disparity, movement parallax, the adaptation and the convergence. The objects seen in 3D can be observed without the use of any special glasses and visual fatigue isn't produced. In 2013, this kind of monitors were introduced in the market. They were used to make watches, telephones or tablets. They use a multidirectional retro illumination. Then, you can see the screen in 3D without using any glasses, obtaining a wide angle. We have different types:

- Integral image: autostereoscopic or multiscope 3D screen. It has a lenses matrix. Each lens is seen different depending on the angle of the vision. When the observer is moving, stereo images are produced.
- Compressive light field: LCD screens in flats. Compression algorithms in the moment of the screen

One year ago, a group of investigators managed by Assistant Professor Daniel Smalley, from Brigham Young University, has started developing another device. It consists on using the light to print coloured graphics in the air. This kind of technology is called free space volumetric display. This screen creates light points images in the air. It is based on photophoretic optical trapping. It works because a group of invisible laser rays isolate a very small cellulose particle in a FOTORETIC place, created by spherical and astigmatism aberrations. When it is heat uniformly, this particle is moved in a constant speed. The perception captured by the human is a line. Consequently, a three-dimensional image is seen. It seem that this image is hanging in the wide space. It can be seen from any angle.



## AGRADECIMIENTOS

Después de estos 5 años de mucho esfuerzo y dedicación termino unos de los proyectos que se han presentado en mi vida y del cual me siento muy orgulloso.

Primeramente quiero expresar mi agradecimiento a D. Jose Luis Álvarez Muñoz por su ayuda en la elaboración de este trabajo.

Agradecido a mi familia y en especial a mi madre que siempre ha estado ahí cuando la he necesitado, en los buenos y malos momentos. El logro también es de ellos.

Por ultimo quiero agradecer a todas los compañeros que he conocido en esta facultad que me han apoyado y ayudado en algún momento de esta travesía y que gracias a todos estos años me llevo grandes amigos a los cuales espero seguir compartiendo momentos de mi vida junto a ellos.

Muchas Gracias a todos.

## Tabla de Contenidos

AGRADECIMIENTOS.....	9
1.0. ¿EN QUE CONSISTE LA VISION EN 3D? .....	11
1.1. Fundamentos de la percepción de imágenes en tres dimensiones: .....	11
2.0. ESTEREOSCOPIO.....	17
2.1. Principio del estereoscopio. ....	17
2.2. Estereoagudeza o agudeza visual estereoscópica.....	18
2.3. Historia del estereoscopio.....	19
2.4. Tipos de estereoscopios. ....	27
3.0. SISTEMA DE VISIÓN ESTEREOSCÓPICA .....	29
3.1. Visión Paralela.....	29
3.2. Visión cruzada.....	29
3.3. Anáglifos. ....	30
3.4. Polarización.....	31
3.5. Tecnología de filtro de interferencia .....	35
3.6. Autoestereoscopio.....	36
3.7. Otros métodos .....	37
3.8. Pantallas 3D Auto estereoscópicas.....	38
4.0. VISUALIZACIÓN VOLUMÉTRICA.....	39
4.1. Pantalla volumétrica 3D .....	39
4.2. Pantalla interactiva e campo de luz de 360º.....	40
4.3. Pantallas holográficas.....	41
4.3.1. Lo último en pantalla holográficas.....	42
5.0. CONCLUSIÓN.....	44
6.0. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

## 1.0. ¿EN QUE CONSISTE LA VISION EN 3D?.

### 1.1. Fundamentos de la percepción de imágenes en tres dimensiones:

La visión binocular nos permite fusionar en una única percepción las sensaciones recibidas por cada una de las retinas. La imagen formada en cada ojo de una misma escena se transmiten a la corteza cerebral. Esa percepción final es el resultado de la fusión de las dos representaciones visuales en los niveles corticales superiores.

Para poder obtener una visión binocular es necesario:

- Los campos visuales monoculares se superpongan en todas las direcciones de mirada.
- Los campos de fijación individuales se superpongan debido a los movimientos coordinados de los dos ojos.
- La transmisión neuronal desde los dos ojos alcance la misma área cerebral para que se produzca la fusión de las imágenes y sé de la coordinación de la percepción.

El campo visual es la región del espacio que puede percibirse con la mirada fija en una determinada posición. Las dimensiones del campo visual son, superiormente unos 60°, hacia el lado nasal le corresponden 60°, hacia el lado temporal unos 95° e inferiormente unos 75°.

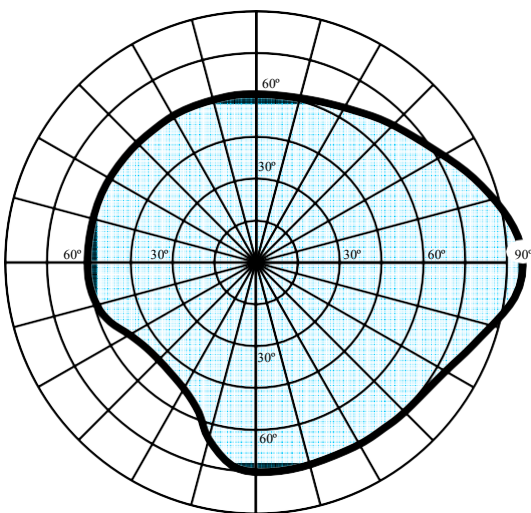


Fig. 1.1.1. Campo visual del ojo derecho.

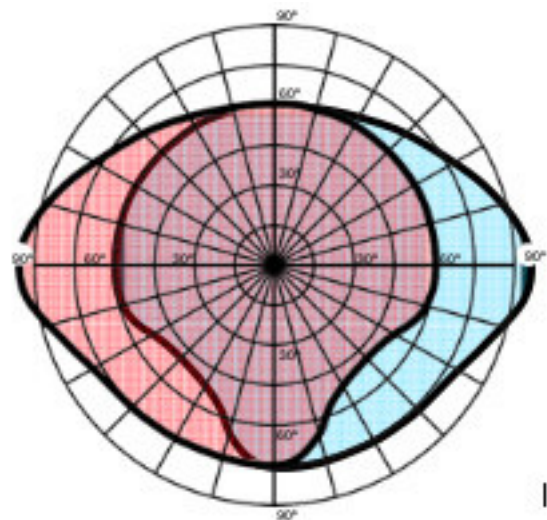


Fig.1.1.2. Campo visual conjunto y campo visual binocular (morado)

En la vida diaria tenemos que defendernos de la forma mas adecuada en nuestro entorno, para ello debemos conseguir reconocer los objetos y poder ubicarlos de la forma mas o menos precisa para poder cogerlos, esquivarlos o desplazarlos. Asi pues uno de los aspectos mas importantes de la visión es obtener información suficiente para tener un correcto sentido espacial. Esta facultad se conoce como sentido de la posición y es la que permite localizar cada uno de los puntos objeto del espacio en relación a uno mismo o respecto a otros puntos. Esta localización se realiza respecto a un origen de coordenadas situado entre ambos ojos del observador, conocido como sistema egocéntrico.

La localización necesita 2 informaciones claves: la dirección y la distancia.

La retina puede considerarse una superficie formada por un mosaico de elementos sensibles a la luz separados entre si (fotorreceptores) y gracias a esta característica permite asociar a cada punto del campo visual una dirección subjetiva concreta y como consiguiente se establece una correspondencia entre los receptores retinianos y la dirección de la que proviene los estímulos visuales.

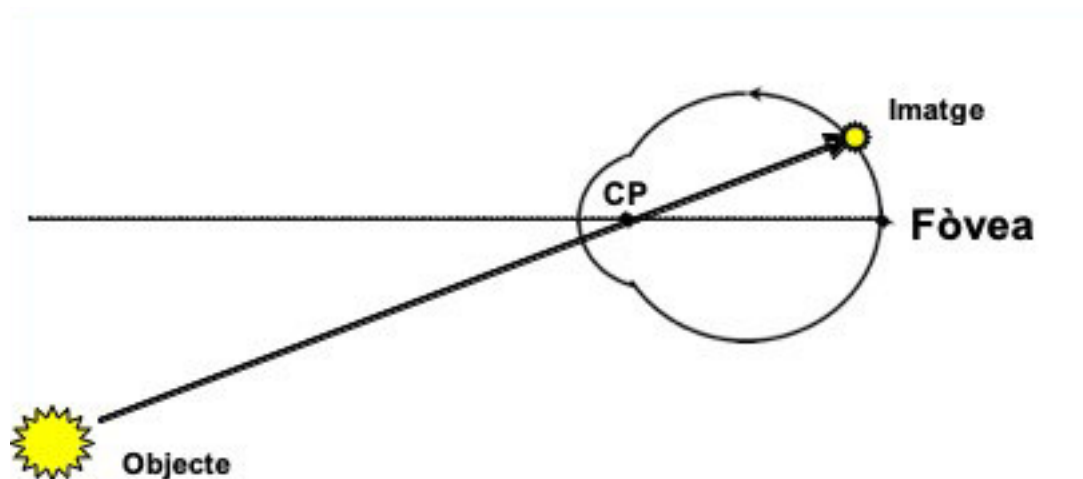


Figura 1.1.3.

Observamos que la línea que resulta de esta proyección es la dirección subjetiva que se asociara a cada objeto del campo visual y que recaen en la fóvea, y que se conoce como dirección visual.

En el caso de la visión del mismo objeto en ambos ojos sabemos que la correspondencia retiniana o binocular es la facultad que da lugar a la percepción en una única dirección de un objeto visto binocularmente, o de objetos vistos separadamente con cada ojo, cuando sus imágenes retinianas estimulan receptores que funcionan coordinadamente para favorecer esta facultad.



Según la Ley de Hering las fóveas son puntos retinianos correspondientes. Es indiferente donde se encuentren las líneas correspondientes, estas se percibirán sobre una única dirección visual binocular.

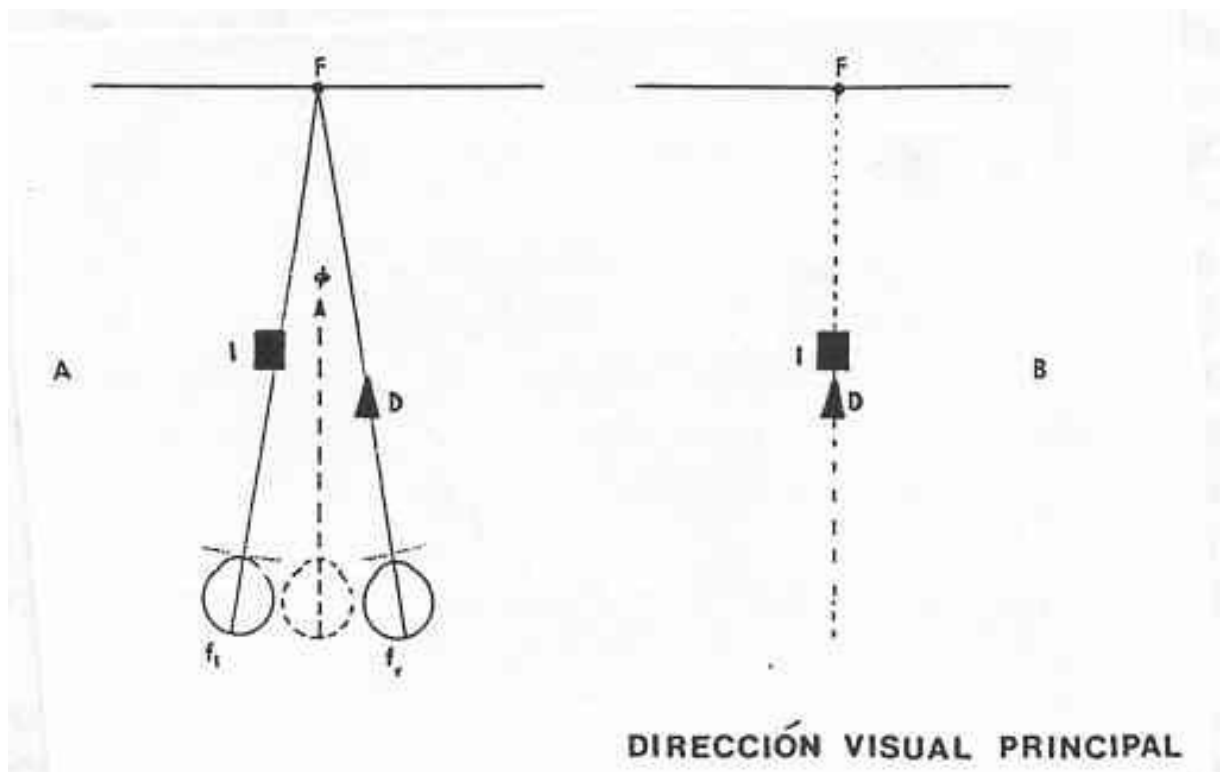


Figura.1.1.4

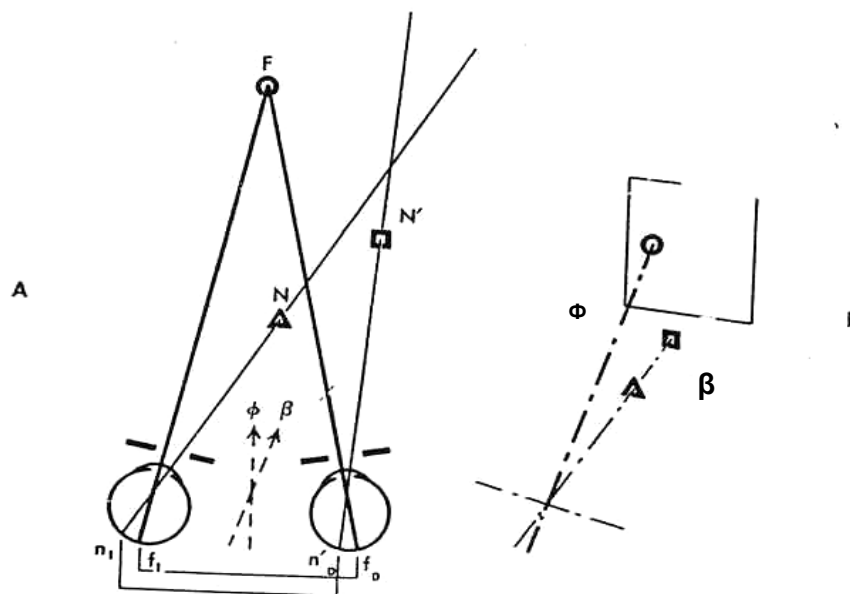


Figura 1.1.5.

- A) Los objetos  $N$  y  $N'$ , que estimulan elementos retinianos correspondientes, son localizados en el espacio visual en la dirección relativa común de  $n_1$  y  $n'_d$  a pesar de su separación horizontal, son localizados uno detrás del otro.
- B) Percepción obtenida.

Dentro de la distancia visual existen diferentes factores:

- Factores Empíricos de profundidad: la estereopsis es el fenómeno de percepción que nos proporciona la mejor información y la mas precisa acerca de la distancia relativa de un objeto respecto a otro. En algunas ocasiones con la intención de simplificar la nomenclatura, se utiliza el término de “percepción de profundidad” como sinónimo de “estereopsis”, pero estos dos términos no son sinónimos ya que hay pacientes con visión monocular que pueden emitir juicios sobre las distancias relativas de los objetos en el espacio, sin embargo no presentan estereopsis. La diferencia entre ambos conceptos reside en que la percepción de profundidad es una percepción de diferencias relativas o absolutas, en la distancia entre el observador y los objetos mientras que la estereopsis es la percepción visual binocular del espacio tridimensional, basado en la disparidad retiniana.

Estos factores empíricos no están ligados a la visión estereoscópica y sin embargo nos aportan mucha información sobre las distancias absolutas y relativas de los objetos. Estos se pueden dividir en:

- Factores monoculares: conjunto de conceptos psicológicos de profundidad obtenidos a través de la experiencia personal
  - Tamaño aparente: el tamaño angular viene determinado por la diferencia en la dirección visual de las partes mas extremas del mismo. Así a partir de dicho tamaño angular podremos tener una percepción del tamaño real del objeto si conocemos la distancias a la que se halla.

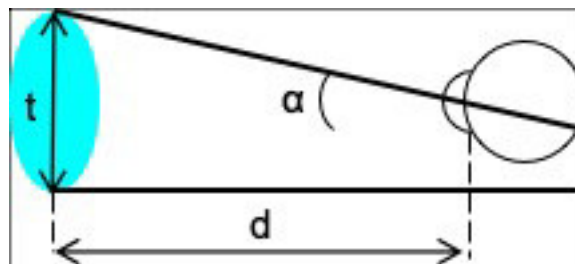


Fig.1.1.6. Conociendo  $d$  se puede estimar la medida aparente del objeto así como si conocemos  $t$  se puede estimar la distancia aparente.

- Perspectiva aérea: se basa en la tendencia que poseen los objetos distantes a volverse de un tono azulado a causa de gases, vapor de agua e impurezas de la atmosfera que interfieren con los rayos de luz procedentes de un objeto
- Perspectiva geométrica: la perspectiva que nos proporciona un punto de fuga puede orientarnos acerca de la posición de los objetos.



Figura 1.1.7

- Luces y sombras: gracias a las sombras podemos observar que los objetos tienen apariencia tridimensional así como el brillo nos da la sensación de que el objeto está más próximo y el más oscuro o menos iluminado suele ser el más alejado.

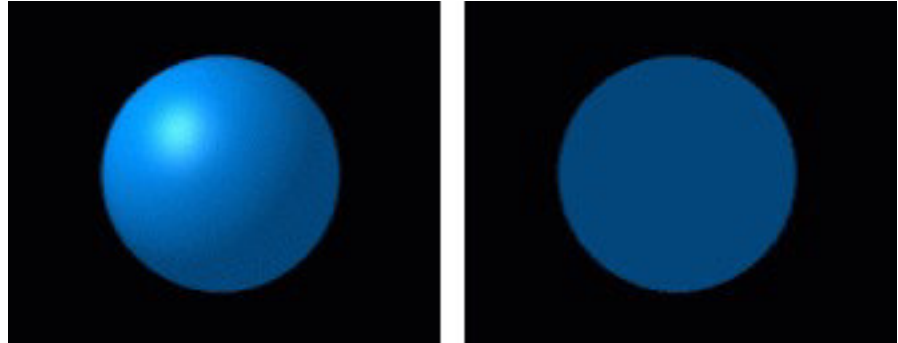


Figura 1.1.8. Las sombras y la iluminación también pueden cambiar la percepción

- Interposición: en este caso si tenemos dos objetos situados de tal modo que uno de ellos cubre parte del otro, podemos interpretar que el segundo está más lejos que el primero.

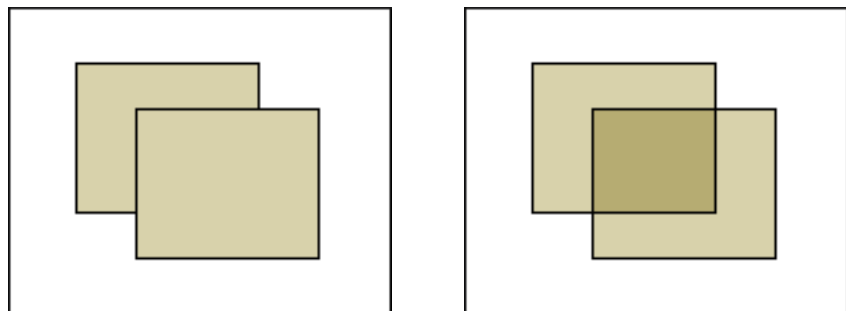


Figura 1.1.9. Interposición.

- Paralaje del movimiento: cuanto más cerca está situado un objeto más cambia su dirección con respecto al observador al moverse este. Cuando tenemos a la vista varios objetos que están situados a diferentes distancias, el movimiento del observador produce un cambio en las direcciones de las cosas entre sí lo cual obtenemos información sobre la profundidad.

B Motion cues for depth

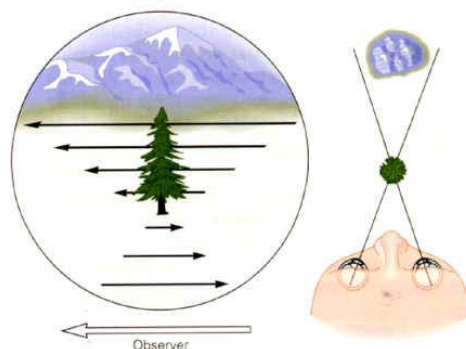


Figura 1.1.10. Paralaje de movimiento.

- Factores oculomotores:
  - Acomodación: cuando el sistema visual activa la acomodación asocia que esta viendo un objeto mas cercano pero esto no es un sistema muy preciso ya que es debido a tres factores que son la profundidad de campo ya que esta permite obtener una mayor nitidez lo cual altera esta referencia, el retardo acomodativo existente normalmente ya que permite tener relajada un poco la acomodación al enfocar objetos y por ultimo las oscilaciones de la acomodación. Hay que decir que en situaciones lejanas existe una sensibilidad máxima de +/-0.50D
  - Convergencia: los cambios de fijación de un punto a otro producen cambios en el ángulo de convergencia y por consiguiente cambios en el estado de contracción de los músculos intrínsecos.
- Factores Binoculares de profundidad: estos factores que proporcionan la información de profundidad los clasificaremos en función de si el objeto NO fijado esta situado dentro o fuera del espacio de Panum.
  - Cuando el objeto no fijado esta fuera del espacio de Panum estamos ante una situación de diplopía fisiológica .El signo de la diplopía nos indicara si los objetos están mas alejados o mas cercanos que el punto de fijación. A mayor separación entre las imágenes diplopías, mas grande es la distancia.
  - Cuando el objeto no fijado esta dentro del área de Panum nos encontramos ante la disparidad binocular. Esta separación entre estímulos dentro del área de Panum son la clave para que la estereopsis pueda llegar a ser la percepción visual binocular del espacio tridimensional.

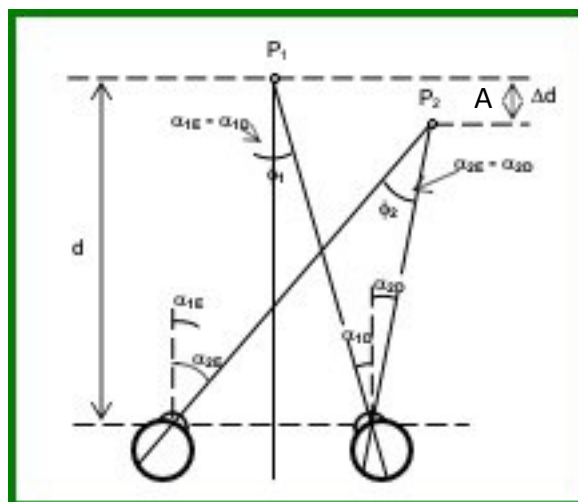


Figura 1.1.11. Esquema de la disparidad binocular.

La disparidad binocular se puede calcular mediante:

$$DB = (\alpha_{2E} - \alpha_{1E}) - (\alpha_{2D} - \alpha_{1D}) = (\alpha_{2E} - \alpha_{2D}) - (\alpha_{1E} - \alpha_{1D}) \cong \frac{dip \Delta d}{d^2}$$

Si el resultado da un valor positivo significa que esta mas próximo que P1, sin embargo si el resultado es negativo nos indicara que esta mas alejado que P1



## 2.0. ESTEREOSCOPIO.

### 2.1. Principio del estereoscopio.

La visión estereoscópica es una propiedad de la visión binocular y aunque monocularmente podamos suplantar con la percepción en profundidad, realmente no existe la visión estereoscópica monocularmente.

Los estereoscopios son aparatos que permiten obtener la sensación de profundidad con la presentación de dos imágenes ligeramente distintas en dos dimensiones, una para cada ojo. Esta sensación de profundidad que tenemos en condiciones normales, es debido a que cada uno de los ojos recibe información del objeto desde una perspectiva diferente (los centros de perspectiva son los centros nodales). Por lo tanto, en el estereoscopio, para simular esta situación se presentan dos imágenes separadas que ya llevan “incorporada” esta perspectiva diferente generando así la sensación de profundidad.

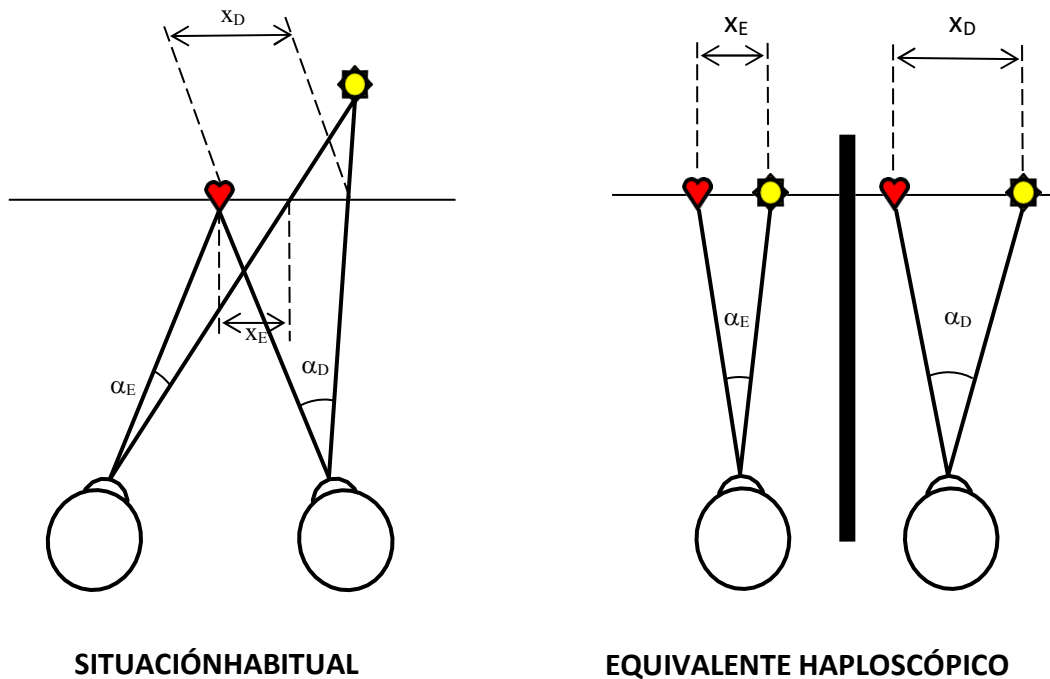


Figura 2.1.1 Principio de los estereoscopios.

Es posible calcular esta disparidad binocular mediante la separación  $X_E - X_D$ . A menor disparidad sea capaz de percibir el paciente, mayor grado de estereopsis tendrá.

$$DBH = \alpha_E - \alpha_D = \frac{X_E - X_D}{d} \text{ (rad)}$$

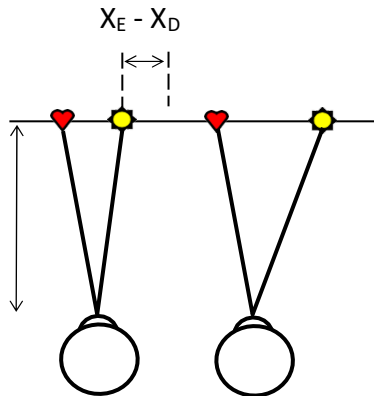


Figura 2.1.2 Cálculo de DBH

## 2.2. Estereoagudeza o agudeza visual estereoscópica.

La estereoagudeza la definimos como la mínima diferencia de distancias en que dos objetos son percibidos en posiciones diferentes, expresado en unidades angulares.

Viene dada por:

$$AVE = \left| \frac{\text{dip } \Delta d_{\min}}{d^2} \right| \frac{648000}{\pi} (")$$

La estereoagudeza depende de diversos factores como:

- Luminancia del fondo.
- Tamaño angular.
- Duración del estímulo.
- Excentricidad.

### 2.3. Historia del estereoscopio.

El término estereopsis, que deriva de los conceptos griegos stereo y opsis (visión sólida), se define como la capacidad que tiene el cerebro humano de generar una visión tridimensional a partir de la percepción en cada ojo de dos imágenes ligeramente diferentes, un fenómeno que nos permite calcular distancias y apreciar el volumen y la profundidad de los objetos.

La disparidad binocular u horizontal, originada por la posición de los globos oculares en la cabeza y los distintos ángulos visuales que ofrecen, ha sido analizada por muchos sabios y científicos a lo largo de la historia y sus contribuciones han resultado decisivas en el trayecto hasta producir un instrumento artificial capaz de recrear esa potencialidad.

El primero en abordarla, trescientos años antes de Cristo, fue el famoso matemático y geómetra heleno Euclides. Sus estudios desvelaron que captamos la profundidad gracias a que el cerebro fusiona en una única visión esas instantáneas casi exactas que recibimos simultáneamente a través de nuestros ojos.

En el siglo II d.c., el astrólogo greco-egipcio Claudio Ptolomeo indagó en la diplopía fisiológica, y el médico Galeno de Pérgamo retomó la labor primigenia de su compatriota siendo el primero en describir la binocularidad y la perspectiva desde cada órgano visual.

Años más tarde, el físico musulmán Alhacén (965-1040) asoció la sensación de profundidad con la convergencia binocular.

Ya en el Renacimiento, Leonardo da Vinci escudriñó en el fenómeno con objeto de desarrollar la perspectiva rectilínea y obtener una pintura más realista, y el pintor florentino Jacopo Chimenti da Empoli produjo la primera pareja de dibujos que demuestra la comprensión de la estereografía y la visión binocular.

Testigo que recogieron con sus trabajos el jesuita belga Francois d'Aguillion (1567-1617), autor del término stéréoscopique, el matemático alemán Johannes Kepler (1611), y el filósofo francés René Descartes (1637).

Un conjunto de esfuerzos que culminaron en el año 1838 cuando el inventor británico Charles Wheatstone, ganador de un premio de la Royal Society por su explicación de la visión binocular, construyó y patentó el primer aparato óptico que permitía disfrutar la experiencia ilusoria de captar el relieve a partir de dibujos geométricos planos diseñados para visualizarse en tres dimensiones.

Había nacido el estereoscopio.

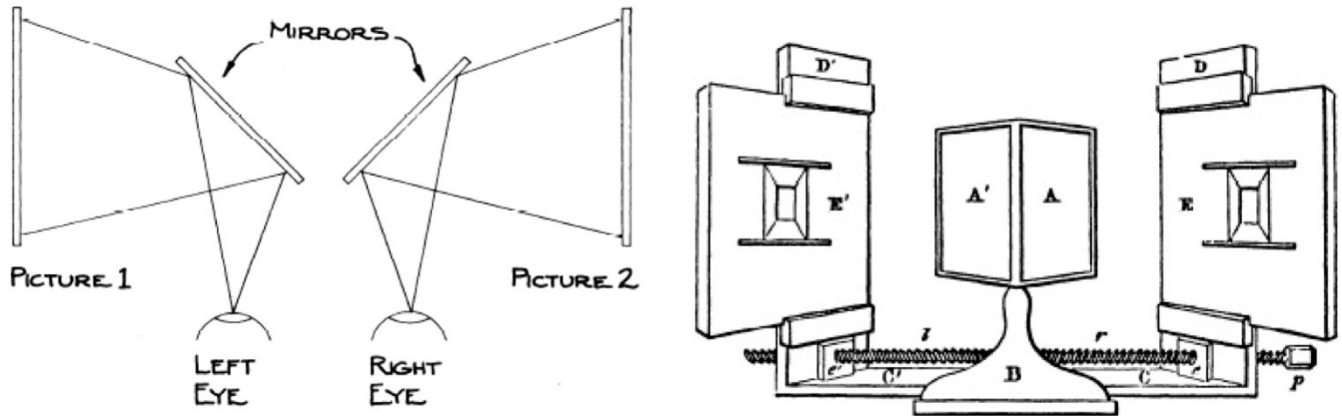


Figura 2.3.1.

El artilugio de Wheatstone, revolucionario para la época, constaba de un chasis con binoculares y espejos que reflejaban dos imágenes (una para cada ojo) y creaban una ficción de profundidad, permitiendo, además, gracias a un eje, alterar el grado de separación con el fin de ajustarse a diferentes tamaños de dibujos.

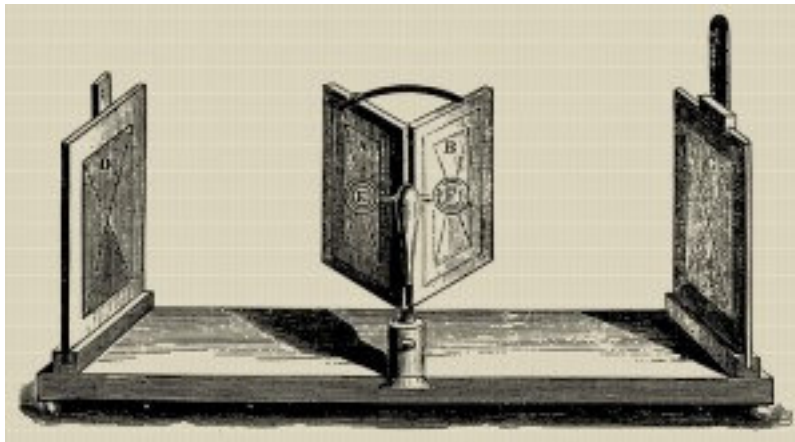


Figura 2.3.2. Dibujo del estereoscopio diseñado por Charles Wheatstone

Su uso se circunscribía básicamente al ámbito académico y tenía pocas posibilidades de explotarse comercialmente de manera masiva debido, entre otras cuestiones, a su complejidad y a que sólo cumplía su objetivo si se observaba desde una posición concreta.



Algo que cambiaría poco tiempo después.

Fue el científico David Brewster, creador del caleidoscopio, el encargado de perfeccionar y abaratar el invento y darle una apariencia más adecuada para su producción en serie, algo de lo que se encargaría la compañía francesa Dubosq&Soleil.

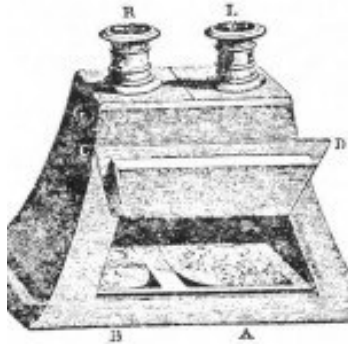


Figura 2.3.3.El estereoscopio lenticular de David Brewster

En 1849, el escocés presentó su estereoscopio lenticular de caja de madera, con dos binoculares en la parte superior y aperturas para la entrada de la luz, un diseño que sería imitado en el futuro por otros creadores de visores y serviría también de fuente de inspiración, una centuria después, para el autor del conocido View Master.

La propia reina Victoria quedó seducida al ver por primera vez el estereoscopio en la Exposición Universal que tuvo lugar dos años más tarde en el Crystal Palace de Londres.

El visor, compacto y de reducidas dimensiones, incluía lentes correctivas para poder enfocar las imágenes desde más cerca y empleaba pequeñas transparencias en pares, en lugar de grandes láminas a los lados del equipo.

En pocos años, el aparato, impulsado por el desarrollo de la fotografía y la cámara estereoscópica-el primer prototipo de dos objetivos fue realizado en 1853 por John Benjamin Dancer-, obtiene el favor del público llegándose a vender más de medio millón de unidades en Inglaterra y atrayendo el interés al otro lado del Atlántico.

Paralelamente, se generaliza la comercialización de series de imágenes en blanco y negro por parte de diversas empresas- una de las más activas en este campo fue la London Stereoscopic Company lo que ofreció a los ciudadanos la posibilidad de recorrer el mundo y visitar lugares remotos sin salir de sus casas.



Figura 2.3.4.

Había nacido un nuevo entretenimiento, equivalente en su época a la atracción generada por el cine o la televisión, y también un instrumento pedagógico de importancia para la educación de niños y adolescentes.

La gente se reunía en hogares, escuelas, salones e iglesias para observar esos estereogramas que ilustraban al pueblo sobre materias diversas como geografía, zoología, astronomía, costumbres o historia natural y le hacían disfrutar de una experiencia casi real.

Las primeras fotografías estereoscópicas que se fabricaron fueron producidas a la manera de los daguerrotipos y los ambrotipos, impresas sobre cobre y vidrio, pero pronto se abarataron notablemente, lo que contribuyó a su difusión, al emplear una sencilla base de cartón, más duradera y estable.

Al principio eran planas y se vendían en un tamaño estándar de unos 18 centímetros de largo por 9 de ancho, pero con el paso de los años llegaron a fabricarse en anchos mayores, de hasta 13 centímetros, e incluso de forma curvada gracias a las investigaciones del fotógrafo Benjamin West Kilburn que demostró que una ligera torsión podía aumentar el efecto de profundidad.

Otro avance decisivo en este campo, aunque más orientado a una experiencia colectiva, se registra a mediados de la centuria con la aparición del anáglifo, definido

por el físico alemán Willem Rollmann y desarrollado, entre otros, por Charles D'Almeida.

El nuevo invento permitía proyectar sobre una pantalla, por separado y de forma simultánea, una pareja de imágenes planas gracias al uso de colores (rojo y azul) para combinarlas y visualizarlas mediante unas gafas con filtros cromáticos obteniendo con ello un efecto tridimensional.

El desarrollo de los estereoscopios destinados al mercado doméstico experimenta una nueva evolución en 1859 gracias al poeta y médico norteamericano Oliver Wendell Holmes, uno de los principales impulsores de la creación de fondos y bibliotecas de fotografías tridimensionales.

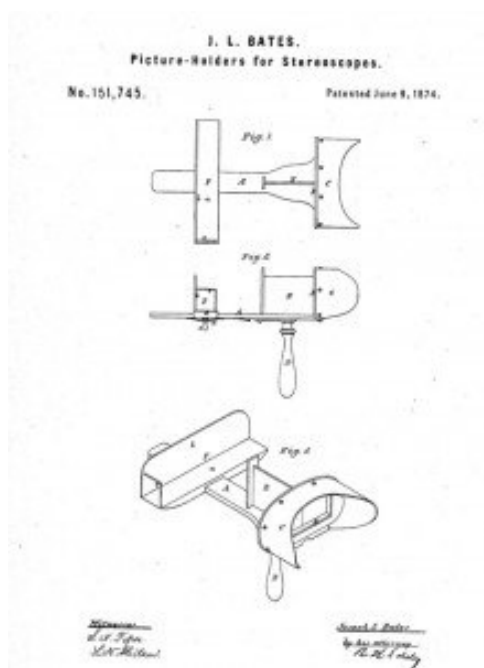


Figura 2.3.5. Uno de los modelos de estereoscopios patentados por Joseph L. Bates

Holmes crea, sobre la base del trabajo de Brewster, un estereoscopio de mano que se convertirá en un éxito de ventas a lo largo y ancho de Estados Unidos y sufrirá diversas modificaciones y mejoras a lo largo de los años.

Las primeras unidades estaban realizadas con una sencilla estructura de madera con tachuelas de latón y acero.

Consistía en un travesaño central, con un mango en el centro para sostenerlo, que se ensanchaba y reforzaba con dos piezas verticales en el extremo que alojaba la cúpula protectora de las lentes, inicialmente rematada en papel recubierto de cuero adornado con cenefas, y contaba en el otro lateral con un accesorio, montado en ángulo recto y fortalecido por una cruceta dorada, que sostenía las fotografías mediante unos apliques metálicos y permitía acercarlas y alejarlas a voluntad.

El aparato, fabricado y perfeccionado en Boston por Joseph L. Bates, fue evolucionando con el tiempo y se le añadieron otros elementos como un soporte plegable de base circular para mesa-también aparece con un apoyo roscado con cuatro patas-, cúpulas con motivos en relieve reforzadas con marcos metálicos, y mangos con elementos en bronce.

El modelo, robusto y económico, alcanzó gran popularidad y muchos fueron los inventores que en años venideros crearon visores inspirados en su concepción.

Así, es posible encontrar aparatos de factura equivalente bajo diversas denominaciones comerciales que pueden presentarse con estructuras en aluminio, cúpulas cuadradas o de metal cincelado, mangos plegables, soportes fotográficos de formas diversas, e incluso mecanismos de fuelle a la manera de las cámaras fotográficas.



Figura 2.3.6

En un mercado ya maduro para los fabricantes- la época álgida de estos instrumentos ópticos se desarrolla entre 1840 y principios del siglo pasado- aparecen múltiples diseños de estereoscopios: portátiles, de escritorio, y de salón como los muebles concebidos para mostrar series cambiantes de hasta un centenar de fotografías.

Uno de los más elitistas fue el stereographoscope que permitía visualizar todos los formatos existentes de fotografías en relieve, incluyendo tarjetas coloreadas y postales, y solía presentarse en lujosos estuches compactos y en formato estereoscópico y monoscópico con dos o tres lentes siendo una de gran tamaño para observar cuerpos opacos a la manera de un microscopio-.





Figura 2.3.7.

Habitualmente se realizaban en maderas nobles, adornadas con labrados, calados, taraceados, lacados, incrustaciones de madreperla, y trabajos de motivos geométricos y vegetales, e incluían elementos de latón y bronce.

Era usual que llevaran una base integrada para elevar el visor, y contaran con un accesorio regulable en altura y distancia para colocar las imágenes, aunque existían diversos tamaños y estilos de manufactura.

Entre las distintas marcas europeas y estadounidenses dedicadas al sector hay que resaltar a compañías, fabricantes e inventores como Underwood, Keystone View Company, Hawley C. White, Edwin K. Page, Richard Ross Whiting, Antonio Quirolo, Henry Ropes, ThePattbergBrothers, Roddo Y. Young, Augustus L. Hudson, TheIngersoll View Company, Alexander Beckers, James Lee, Ziegler, CoffinViewer, Rowsell, Negretti & Zambra, o The American Corte-Scope.



Figura 2.3.8.

En el declive del estereoscopio-durante la década de los veinte sólo continuaba activa una empresa-influyeron diversos factores.

La limitación de uso-sólo una persona podía disfrutar a la vez de la experiencia y su empleo resultaba un poco incómodo-, la competencia de otros inventos-el desarrollo de nuevos juguetes ópticos como la linterna mágica, el auge de la fotografía, y, por supuesto, el cinematógrafo le fueron restando clientes-, la pérdida de calidad asociada a la producción en serie-las imágenes tridimensionales y los visores cada vez eran menos fiables generando experiencias molestas para el espectador-, o el cansancio del público por un invento que poco a poco se quedó obsoleto.

Sin embargo, el concepto regresó de nuevo con fuerza en la segunda mitad del siglo XX gracias a William Gruber, un fotógrafo estadounidense que, basándose en los principios del estereoscopio, desarrolló el popular View Master, un aparato con película a color y discos giratorios con imágenes tridimensionales que pronto se convirtió en uno de los juguetes más deseados por niños y jóvenes.

Hoy en día, la moda del 3D de nuevo se impone, casi doscientos años después de su aparición, impulsada por el cine y los nuevos formatos de película en una clara demostración que el invento de Wheatstone sigue conservando intacta su capacidad de seducir y sorprender al espectador con su ilusión de realidad paralela.

## 2.4. Tipos de estereoscopios.

- Estereoscopios de lentes: en el se colocan las fotografías en el plano focal  $F'_1$  y  $F'_2$  de dos lentes convergentes  $O_1$  y  $O_2$  de tal manera que las distancias entre dos puntos homólogos lejanos sean igual a la distancia entre los puntos nodales de las lentes.

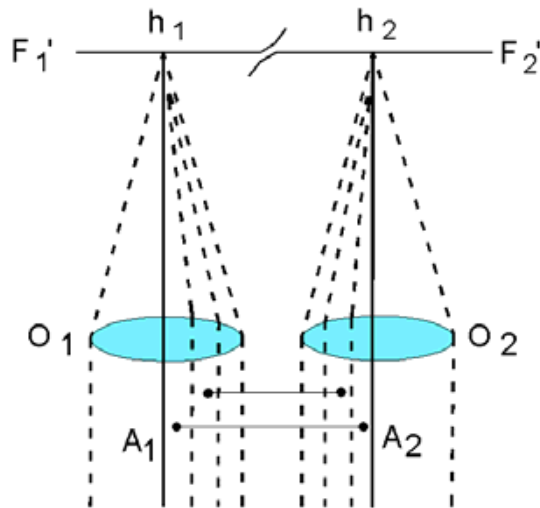


Figura 2.4.1.

- Estereoscopios de espejos (Robert Wheastone 1838): el mismo consiste en dos espejos que reflejan las imágenes provenientes de un par de fotografías (coloreadas verticalmente) directamente hacia los ojos del observador.

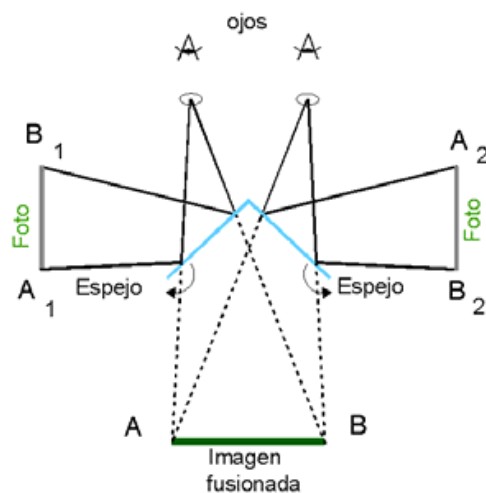


Figura 2.4.2.

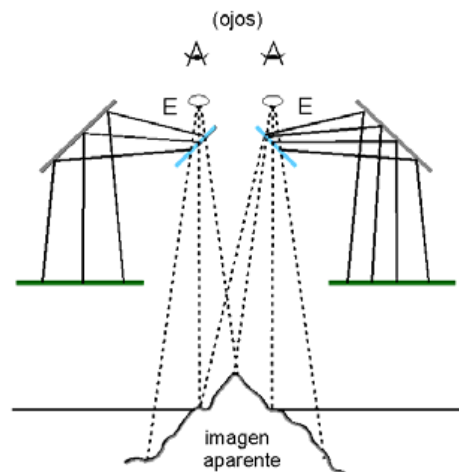


Figura 2.4.3.

Una variant de este tipus de estereoscopi, lo constitueix el construït per Helmholtz en 1857 (figura 2.4.3), el qual disseny de quatre espejos és similar als actualment en ús. basat en el principi de Helmholtz podem trobar una altra variant que consisteix en desplaçar dos dels quatre espejos per prismes (B-B').

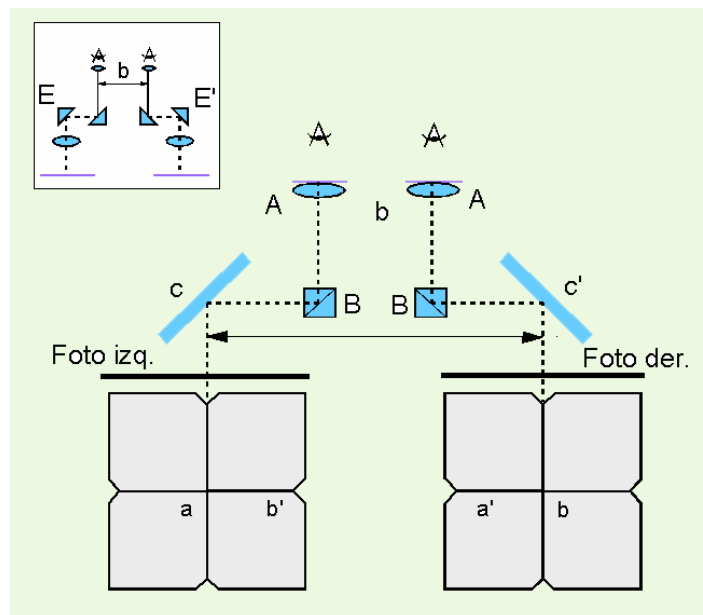


Figura 2.4.4. En este tipus de estereoscopi se obtenen les reflexions per mitjà de espejos C-C' i mitjà prismes (B-B').

### 3.0. SISTEMA DE VISIÓN ESTEREOSCÓPICA

#### 3.1. Visión Paralela.

Es uno de los primeros y más antiguos sistema de visualización. El observador debe centrar su atención en un punto en el infinito, manteniendo los ejes de visión paralelos. Las imágenes no pueden tener un tamaño superior a 65 mm entre sus centros. Para facilitar la visión paralela, se utilizan lentes para acomodar la vista y evitar que cada ojo perciba lateralmente la imagen correspondiente al otro ojo.

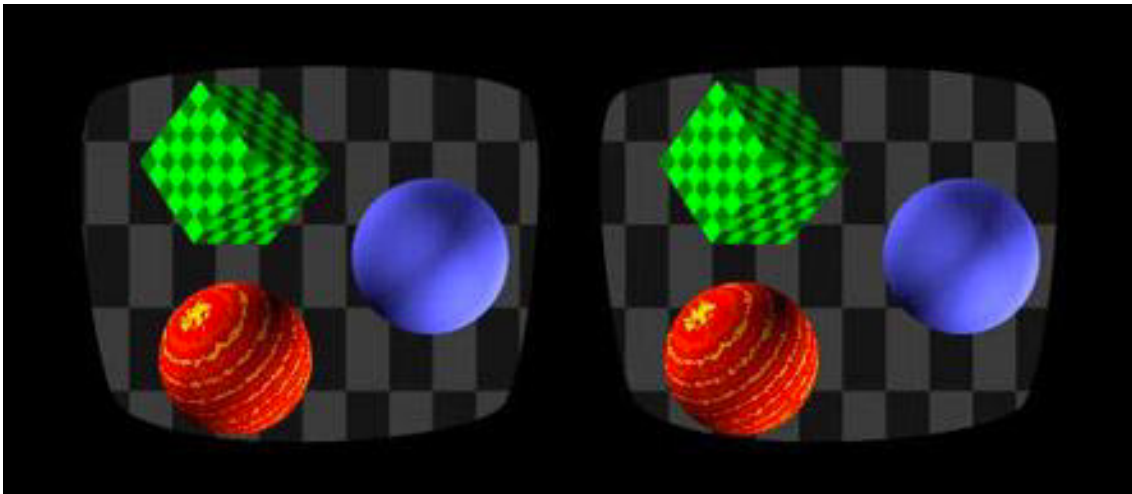


Figura 3.1.1 Visión paralela.

#### 3.2. Visión cruzada.

En este tipo de sistema, las líneas de visión de ambos ojos se cruzan, centrándose en un punto medio más cercano. De esta forma el ojo derecho observa la imagen izquierda y viceversa.



Figura 3.2.1 Visión cruzada.



### 3.3. Anáglifos.

Son imágenes de dos dimensiones capaces de provocar un efecto tridimensional cuando se visualiza con lentes espaciales, utilizan filtros de colores, como rojo-azul, rojo-verde etc. La imagen presentada por ejemplo en rojo no es vista por el ojo que tiene un filtro del mismo color, pero sí que ve la otra imagen en azul o verde. Este sistema, por su bajo costo, se emplea sobre todo en publicaciones, así como también en monitores de ordenador y en el cine. Presenta el problema de la alteración de los colores, pérdida de luminosidad y cansancio visual después de un uso prolongado. Normalmente se sitúa el filtro rojo en el ojo izquierdo, y el azul en el ojo derecho. Este método utiliza el fenómeno de síntesis de la visión binocular para obtener el efecto de tres dimensiones a partir de una imagen compuesta de otras dos. Louis Ducos du Hauron la patento en 1891.

#### Anáglifo (gafas rojo/azul)

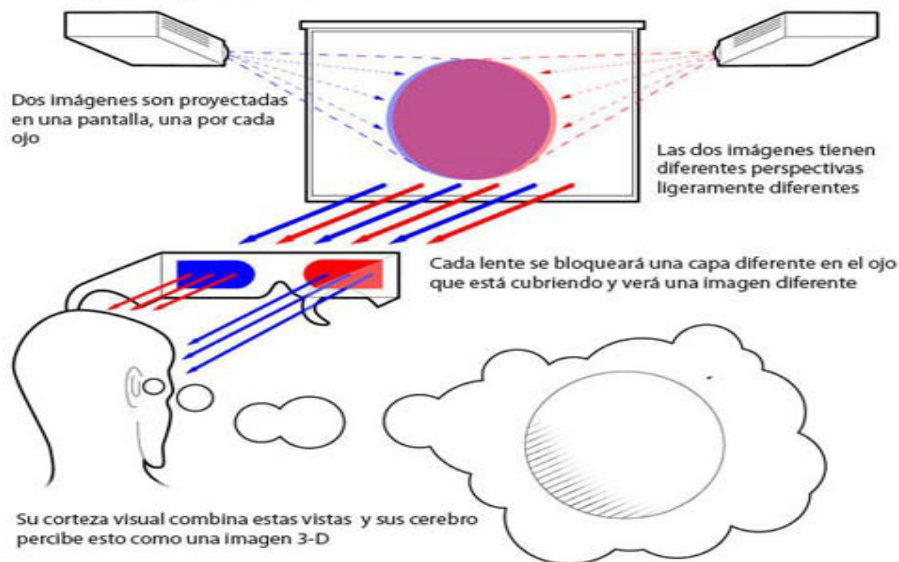


Figura 3.3.1

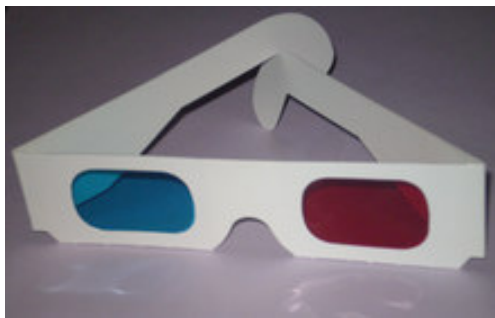


Figura 3.3.2

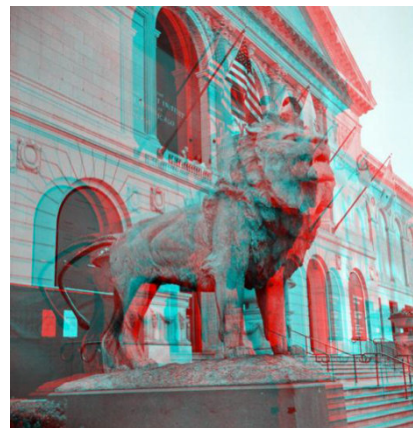


Figura 3.3.3



### 3.4. Polarización.

En un sistema polarizado, la pantalla produce luz polarizada a través de la adhesión de un obturador polarizador en el caso de las pantallas CRT (Rayos de tubos catódicos) o de manera directa en los LC (Pantallas Cristal Liquido).

El sistema polariza las imágenes izquierda y derecha con direcciones ortogonales (90° de diferencia) y el espectador se pone unas gafas pasivas polarizadas donde los ejes de polarización son también ortogonales. Estas lentes polarizadoras de las gafas, junto con la luz polarizada de la pantalla, actúan como obturadores bloqueantes para cada ojo.

#### Polarized 3-D Glasses

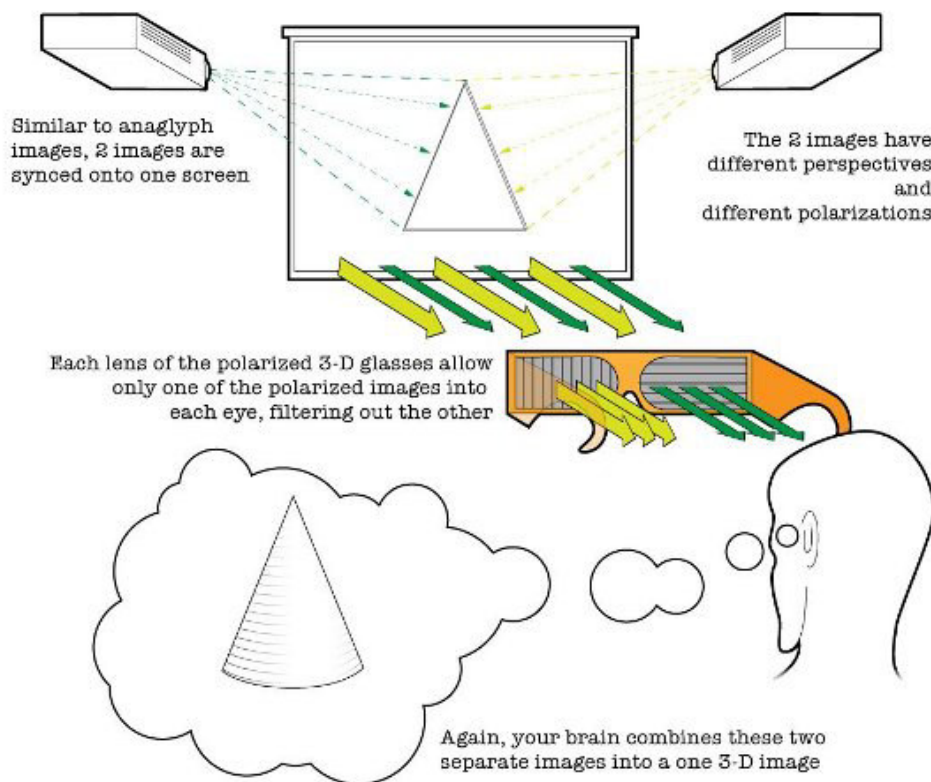


Figura 3.4.1.

El sistema pasivo utiliza la técnica de micro polarización, en la que ambas imágenes se muestran al mismo tiempo en una base de alternancia línea a línea, dicho de otra manera una imagen polarizada en las líneas pares de la pantalla y la otra en las impares. Así la frecuencia de imagen es la misma que en contenido 2D, aunque se reduce la resolución vertical de las imágenes a la mitad.

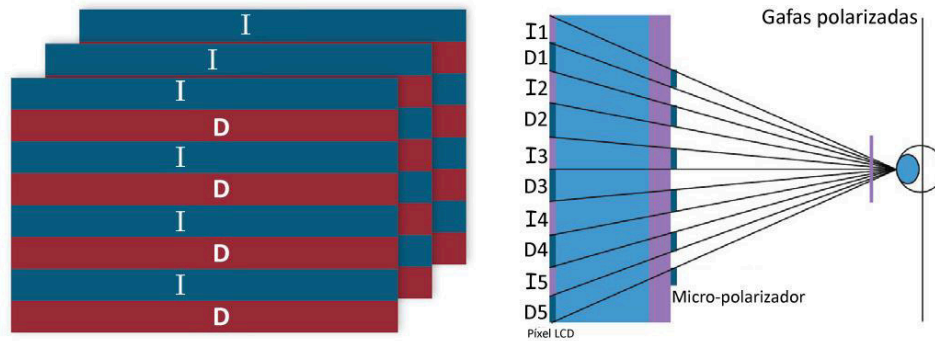


Figura 3.4.2.

Las gafas polarizadas hacen que un ojo pueda ver un conjunto de líneas y que el resto le sean bloqueadas.

Hay que tener en cuenta que la pantalla sobre la que se proyecte no debe alterar o eliminar la polarización de la luz.

Una ventaja de los sistemas pasivos es el económico gasto de las gafas, sin embargo como desventaja debemos indicar que existe una disminución de la resolución vertical a la mitad así como la incompatibilidad entre los dos métodos de polarización utilizados.

Estos métodos son los siguientes:

- Gafas de polarización lineal: en la polarización lineal las dos imágenes se proyectan superpuestas mediante dos proyectores, polarizadas con filtros ortogonales (normalmente entre  $45^\circ$  y  $135^\circ$ ) sobre una pantalla que conserve polarización. Posee una desventaja y es que aparece el efecto ghosting si los polarizadores no están separados  $90^\circ$  exactos y también que se requiere por parte del espectador mantener la cabeza a nivel sin ladearla.

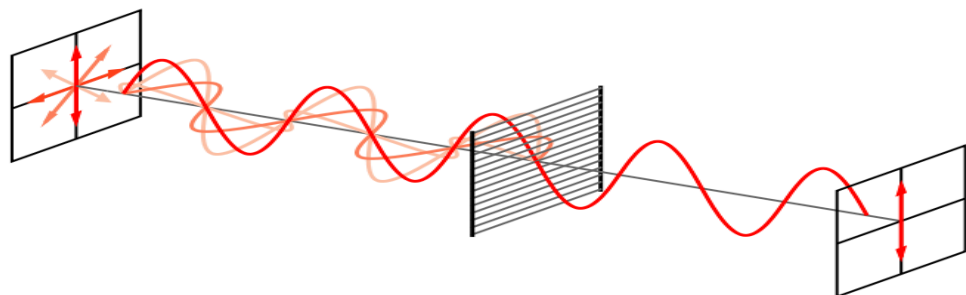


Figura 3.4.3.El polarizador lineal convierte un haz no polarizado en uno con una única polarización lineal.

- Gafas de polarització circular: la polarització circular utilitzada polarització en un sentit circular y en el contrari para separar las imágenes. Este proceso se puede usar con dos proyectores o con uno que tenga alternancia de la polarización circular como por ejemplo el sistema REaID. Esta técnica tiene la ventaja de ser mas tolerante al ladeo de cabeza por parte del observador lo cual le proporciona mas comodidad en cuanto a la experiencia de la visión.

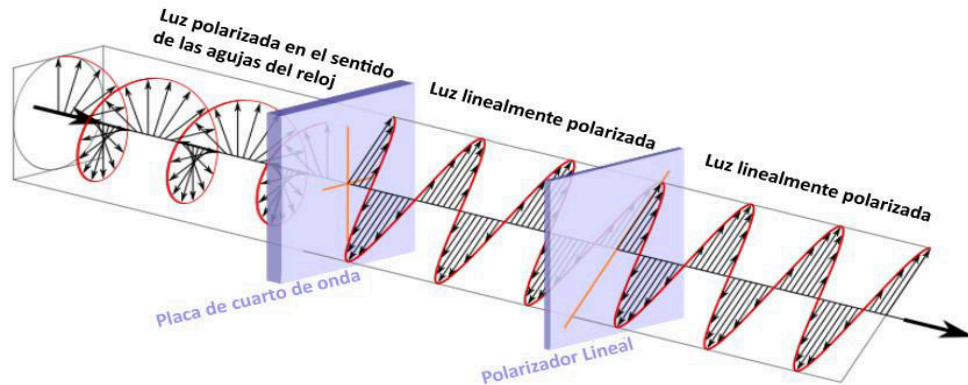


Figura 3.4.4.

#### Active Shutter Glasses

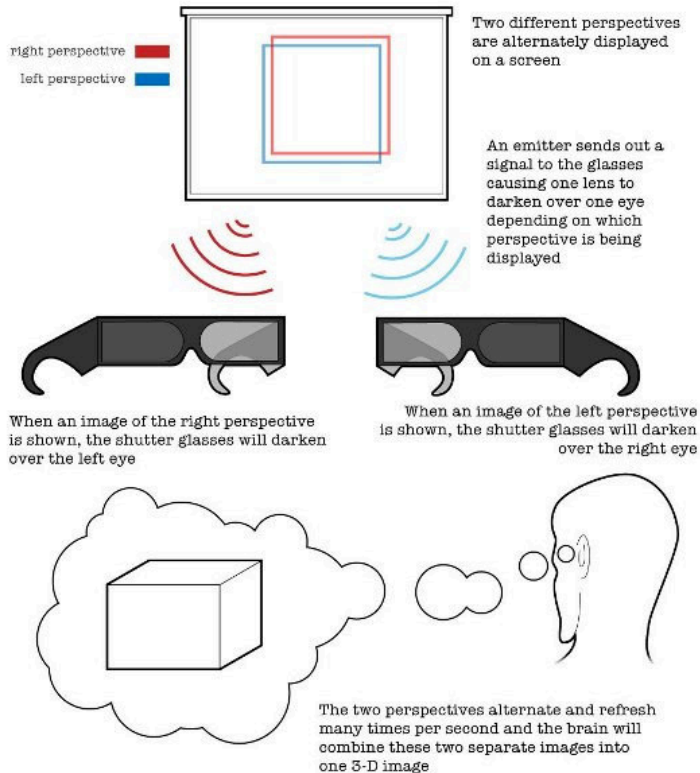


Figura 3.4.5

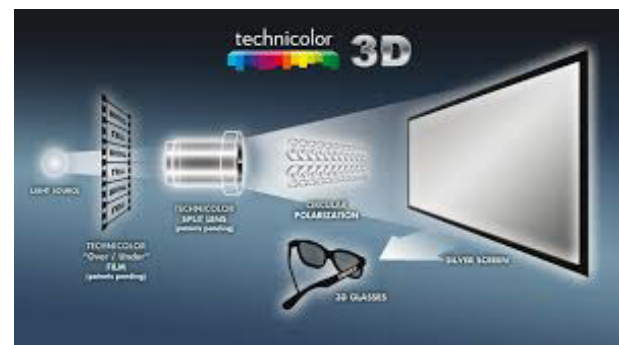


Figura 3.4.6



Figura 3.4.7

Existen diferentes sistemas 3D con este método de polarización:

- Sistema RealD 3D: este sistema crea la ilusión a partir de la emisión de imágenes intercaladas del ojo izquierdo y derecho a 144 cuadros por segundo (2 ojos x 24 cuadros x 3 veces cada cuadro). Se usa polarización circular, que es mas estable, establecida desde el proyecto que esta en sincronía con la pantalla LCD que se pone en frente de este, para crear la polarización de la luz. Se necesita una pantalla especial plateada que refleja la luz ayudando a que existe el menos traspaso de imagen de un ojo al otro.

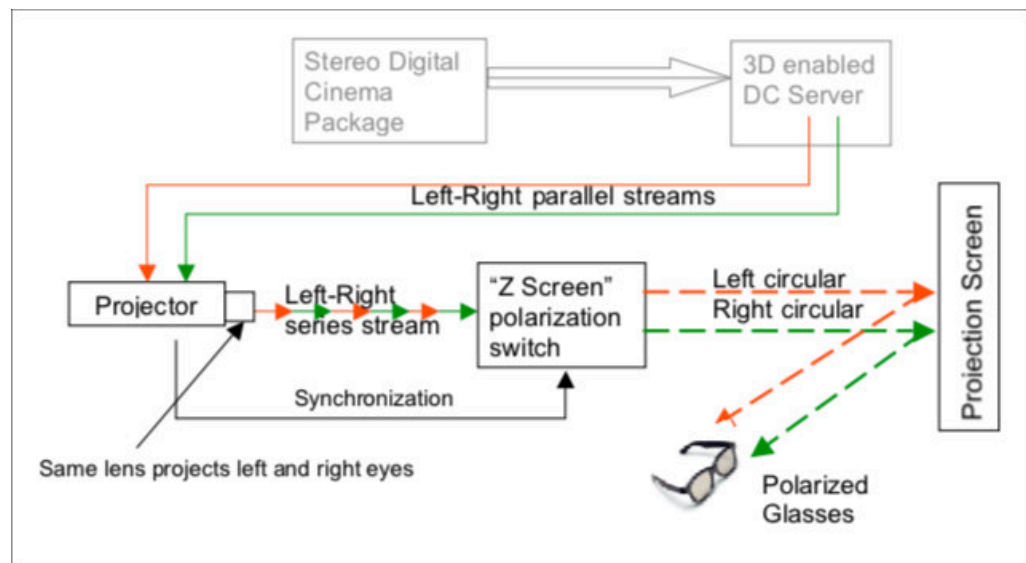


Figura 3.4.8.

- Sistema Dolby 3D: El sistema crea la ilusión a partir de la emisión de imágenes intercaladas del ojo izquierdo y derecho, a 144 cuadros por segundo, al igual que el RealD, pero usa una pantalla común (Blanca) y crea el 3D mediante diferenciación espectral, que se refiere a la diferencia de colores, como los típicos lentes Rojo-Azul, pero a un nivel imperceptible, de manera que se ve la imagen a todo color. Dentro del proyector va el sistema de disco que produce la diferenciación de color, coordinado con las imágenes proyectadas.

- Sistema XpanD 3D: es un sistema que utiliza gafas activas, es decir, el proyector no filtra la imagen, sino que la filtra la gafa del espectador. Las gafas suelen ser bastante luminosas ya que cuentan con una electrónica interior que han de incluir las consiguientes baterías.



Figura 3.4.9.

Las válvulas de luz de cristal líquido funcionan girando la luz entre dos filtros polarizadores. Debido a estos polarizadores internos, las gafas de obturación LCD oscurecen la imagen de la pantalla de cualquier LCD, plasma o fuente de imagen del proyector, lo que da como resultado que las imágenes aparezcan más oscuras y el contraste sea más bajo que en la visualización normal no 3D. Esto no es necesariamente un problema de uso; para algunos tipos de pantallas que ya son muy brillantes con niveles de negro grisáceo deficientes, las gafas con obturador LCD pueden mejorar la calidad de la imagen.

### 3.5. Tecnología de filtro de interferencia

Dolby 3D utiliza longitudes de onda específicas de rojo, verde y azul para el ojo derecho, y diferentes longitudes de onda de rojo, verde y azul para el ojo izquierdo. Las gafas que filtran las longitudes de onda muy específicas permiten al usuario ver una imagen en 3D. Esta tecnología elimina las costosas pantallas plateadas requeridas para los sistemas polarizados como RealD, que es el sistema de visualización 3D más común en los cines. Sin embargo, sí requiere gafas mucho más caras que los sistemas polarizados. También se conoce como filtrado de peine espectral o visualización multiplex de longitud de onda.

El recientemente presentado Omega 3D / Panavision 3D. El sistema también utiliza esta tecnología, aunque con un espectro más amplio y más "dientes" que el "peine" (5 para cada ojo en el sistema Omega / Panavision). El uso de más bandas espectrales por ojo elimina la necesidad de procesar en color la imagen, requerida por el sistema Dolby. La división uniforme del espectro visible entre los ojos proporciona al espectador una "sensación" más relajada, ya que la energía de la luz y el balance de



color es de casi 50-50. Al igual que el sistema Dolby, el sistema Omega se puede usar con pantallas blancas o plateadas. Pero se puede usar con proyectores de película o digitales, a diferencia de los filtros Dolby que solo se usan en un sistema digital con un procesador de corrección de color provisto por Dolby. El sistema Omega / Panavision también afirma que sus gafas son más baratas de fabricar que las usadas por Dolby. En junio de 2012, el sistema Omega 3D / Panavision 3D fue discontinuado por DPVO Theatrical, quien lo comercializó en nombre de Panavision, citando "las difíciles condiciones económicas globales y del mercado 3D". Aunque DPVO disolvió sus operaciones comerciales, Omega Optical continúa promoviendo y vendiendo sistemas 3D a mercados no teatrales. El sistema 3D de Omega Optical contiene filtros de proyección y gafas 3D. Además del sistema pasivo estereoscópico 3D, Omega Optical ha producido gafas 3D anáglifos mejoradas. Las gafas anáglifos rojas / cian de Omega utilizan recubrimientos de película delgada de óxido metálico complejo y ópticas de vidrio recocido de alta calidad.

### 3.6. Autoestereoscopio

La Nintendo 3DS utiliza la autoestereoscopia de barrera de paralaje para mostrar una imagen en 3D.

En este método, las gafas no son necesarias para ver la imagen estereoscópica. Las tecnologías de lente lenticular y barrera de paralaje implican imponer dos (o más) imágenes en la misma hoja, en tiras estrechas y alternas, y usar una pantalla que bloquee una de las dos tiras de las imágenes (en el caso de las barreras de paralaje) o use igualmente Lentes estrechos para doblar las tiras de imagen y hacer que parezca llenar toda la imagen (en el caso de impresiones lenticulares). Para producir el efecto estereoscópico, la persona debe colocarse de manera que un ojo vea una de las dos imágenes y el otro la otra.

Los principios ópticos de la autoestereoscopia multivisión se conocen desde hace más de un siglo.

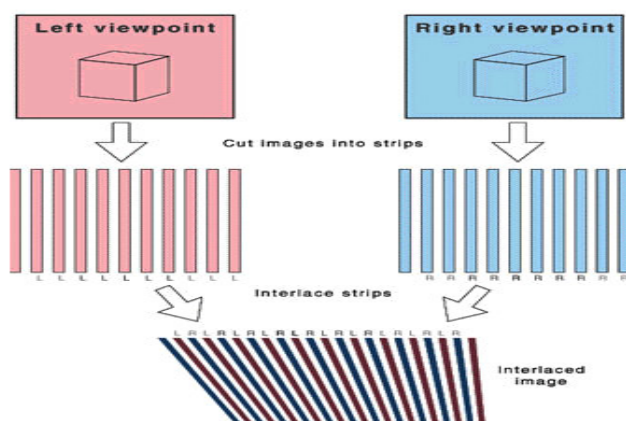


Figura 3.6.1



Ambas imàgenes se projecten en una pantalla corrugada de alta ganancia que reflecta la luz en àngulos aguts. Para ver la imagen estereoscòpica, el espectador debe sentarse dentro de un àngulo muy estrecho que es casi perpendicular a la pantalla, lo que limita el tamaño de la audiencia.

Aunque su uso en presentaciones teatrales ha sido bastante limitado, el lenticular se ha usado ampliamente para una variedad de artículos novedosos e incluso se ha utilizado en la fotografía 3D amateur. El uso reciente incluye la FujifilmFinePix Real 3D con una pantalla auto estereoscòpica lanzada en 2009. Otros ejemplos de esta tecnología incluyen pantallas LCD auto estereoscòpicas en monitores, computadoras portàtiles, televisores, telèfonos mòviles y dispositivos de juego, como el Nintendo3DS .

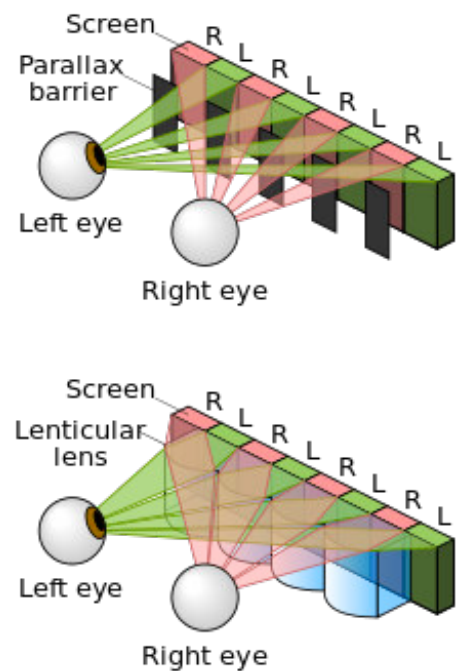


Figura 3.6.7

El paralaje plantea problemas cuando se trata de imàgenes en primer plano puesto que la longitud focal puede ser comparable a la distancia interocular, o incluso más corta, lo cual puede producir efectos desagradables debido a la poca profundidad de campo y/o superposición insuficiente entre la imagen captada por el ojo izquierdo y la captada por el ojo derecho y/o los grandes àngulos formados por el objeto observado y los puntos de captación de la imagen.

### 3.7. Otros métodos

Un autostereograma aleatorio de puntos codifica una escena 3D que se puede "ver" con la técnica de visualización adecuada

Un autostereograma es un estereograma de una sola imagen (SIS), diseñado para crear la ilusión visual de una escena tridimensional (3D) a partir de una imagen bidimensional en el cerebro humano . Para percibir formas 3D en estos autostereogramas, el cerebro debe superar la coordinación normalmente automática entre el enfoque y la vergencia .

Es posible observar los autoestereogramas sin ningún instrumento. De unamanera fácil deberemos acercarnos mucho a la imagen sin intentar mirarla y luego deberemos alejarnos gradualmente hasta conseguir percibir la imagen en relieve. Este ejercicio requiere una fuerte disociación entre la convergencia y la acomodación y por supuesto un tiempo de adaptación y se debe tener cuidado por que realizamos un esfuerzo visual considerable.

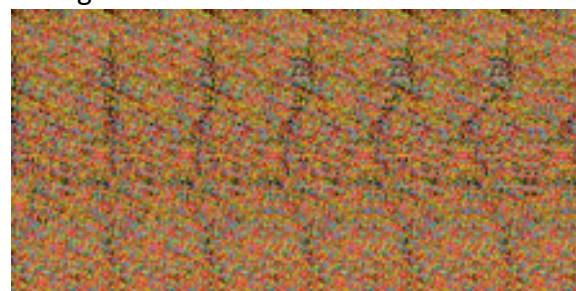


Figura 3.7.1 Autoestereograma

### 3.8. Pantallas 3D Auto estereoscópicas.

Estas pantallas permite ver en 3D si necesidad de gafas. Además de proporcionarnos información sobre la profundidad también nos permite la selección arbitraria del punto de vista y dirección dentro de la escena, así que si en algún momento realizamos un cambio de posición esta afectara la imagen que observa. Este fenómeno se conoce como Free viewpoint (punto de vista libre) y estos están limitados actualmente a 8 por cuestiones tecnológicas. Este requiere dos imágenes (una por cada ojo) lo que hace que para los 8 puntos de vistas se necesiten mostrar 9 imágenes a la vez diferentes en el plano horizontal, lo que significa que la pantalla deberá tener una resolución 4 veces mayor que la resolución estándar (SDTV) y soportar corrientes de video de millones de bytes por segundo.

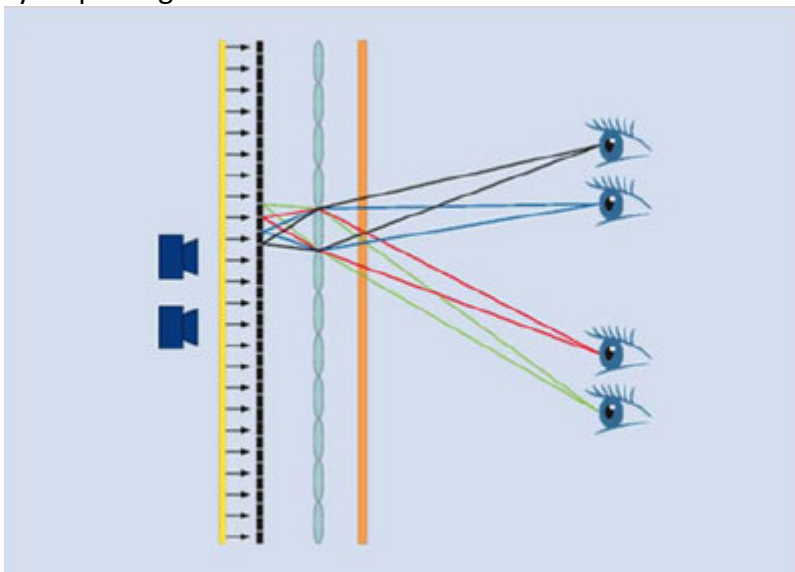


Figura 3.8.1. El Free View permite que haya más espectadores y que cada uno pueda tener una visión diferente.

Los televisores auto estereoscópicos permiten ver contenidos 2D y 3D sobre la misma pantalla. En el modo 3D cada lente refracta el frente de onda hacia una dirección diferente, provocando el efecto 3D.

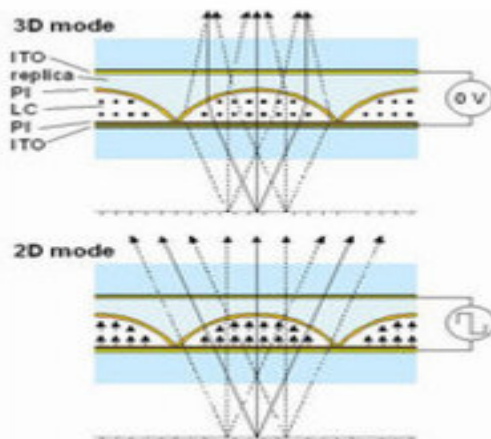


Figura 3.8.2. las lentes de cristal liquido permiten cambiar el ángulo de refracción de la luz incidente y en el momento que aplicamos una carga sobre estas eliminamos su efecto.

#### 4.0. VISUALIZACIÓN VOLUMÉTRICA.

##### 4.1. Pantalla volumétrica 3D

Las pantallas volumétricas utilizan mecanismos físicos para mostrar puntos de luz dentro de un volumen. Estas pantallas utilizan voxels en lugar de píxeles. Las pantallas volumétricas incluyen pantallas multiplanares, que tienen varios planos de pantalla apilados, y pantallas de panel giratorio, donde un panel giratorio arrastra un volumen.

Actualmente la compañía LookingGlass Factory ha desarrollado una pantalla holográfica de sobremesa de 8.9 pulgadas que es capaz de representar en 3D tanto modelos estáticos como animaciones. Soporta formatos de archivos y objetos tridimensionales mas habituales y representa en tiempo real modelos 3D procedentes de los programas habituales a la vez que se trabaja con ellos. Esta pantalla esta formada por laminas translucidas superpuestas y para proyectar la imagen de forma adecuada dentro de la pantalla primero se procesa y después la luz se proyecta de tal modo que cada parte de la imagen se presenta en diferentes superficies reflectantes, lo que a simple vista se percibe como un objeto tridimensional, con volumen y profundidad, dentro de una caja. Una de las ventajas de utilizar una pantalla volumétrica es que permite que varias personas vean simultáneamente una creación en 3D con detalle y desde cualquier ángulo, de forma parecida a como se podría ver en unas gafas de realidad virtual.



Figura 4.1.1



figura 4.1.2

#### 4.2. Pantalla interactiva e campo de luz de 360°.

Se describe un conjunto de técnicas de renderizado para una pantalla auto estereoscópica capaz de presentar gráficos 3D interactivos a los espectadores simultáneos de 360 grados alrededor de la pantalla. La pantalla consta de un proyector de video de alta velocidad, un espejo giratorio cubierto por un difusor holográfico. La pantalla utiliza una tarjeta de gráficos programables estándar para hacer mas de 5000 imágenes por segundo de gráficos interactivos en 3D, que se proyectan vistas en 360 grados con una separación 1,25 grados hasta 20 actualizaciones por segundo. Esta pantalla no requiere de gafas especiales de observación, omnidireccional, permitiendo estar situado en cualquier lugar alrededor de ella.

Descripción general de sistema:

- Espejo giratorio inclinado a 45 grados para poder reflejar los rayos de luz del proyector a todas las posibles posiciones de visualización de todo el dispositivo, permitiendo a que muchas personas puedan observar la pantalla al mismo tiempo.
- Proyector de alta velocidad: la señal de video trabaja a 60Hz y proporciona 1.440 fotogramas por segundo

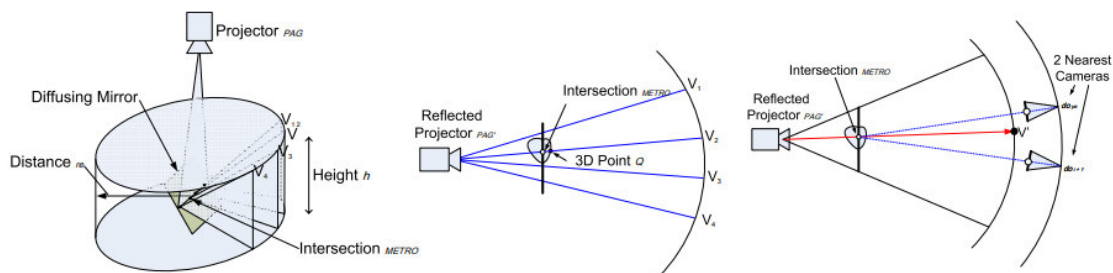


Figura 4.2.1

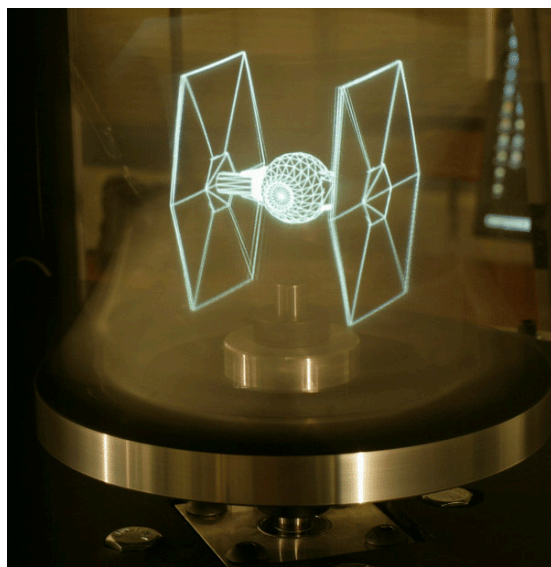


Figura 4.2.2

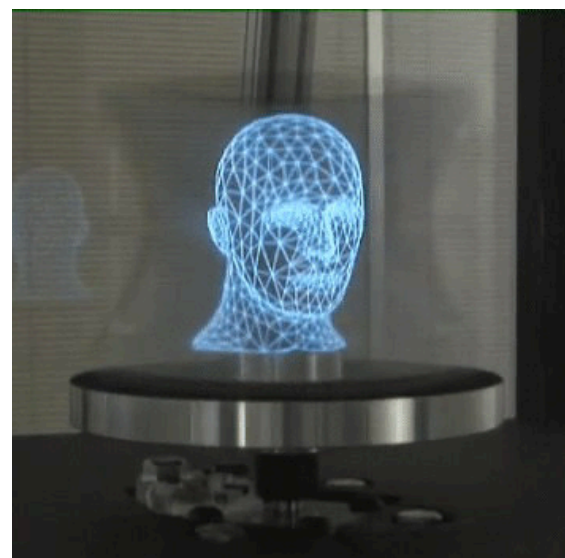


Figura 4.2.3

#### 4.3. Pantallas holográficas.

La pantalla holográfica es una tecnología de pantalla que tiene la capacidad de proporcionar los cuatro mecanismos oculares: disparidad binocular , paralaje de movimiento , adaptación y convergencia . Los objetos 3D se pueden ver sin usar gafas especiales y no se producirá fatiga visual en los ojos humanos.

En 2013, una compañía LEIA Inc. de Silicon Valley comenzó a fabricar pantallas holográficas adecuadas para dispositivos móviles (relojes, teléfonos inteligentes o tabletas) utilizando una retroiluminación multidireccional y permitiendo una amplia vista de ángulo de paralaje completo para ver contenido en 3D sin necesidad de gafas.].

Actualmente existen

- Imagen integral: La imagen integral es una pantalla 3D auto estereoscópica o multiscópica , lo que significa que muestra una imagen 3D sin el uso de gafas especiales por parte del espectador. Esto se logra al colocar una matriz de microlentes (similar a una lente lenticular ) delante de la imagen, donde cada lente se ve diferente según el ángulo de visión. Por lo tanto, en lugar de mostrar una imagen 2D que se ve igual desde todas las direcciones, reproduce un campo de luz 4D , creando imágenes estéreo que exhiben paralaje cuando el espectador se mueve.
- Pantalla de campo de luz compresiva: Se está desarrollando una nueva tecnología de visualización llamada "campo de luz compresiva". Estas pantallas prototipo utilizan paneles LCD en capas y algoritmos de compresión en el momento de la pantalla. Los diseños incluyen dispositivos duales [17] y multicapa [18] [19] [20] impulsados por algoritmos como la tomografía computada y la factorización matricial no negativa y la factorización tensorial no negativa .



#### 4.3.1. Lo último en pantalla holográficas.

Hace aproximadamente mas de un año un equipo de investigadores dirigido por el Profesor Asistente Daniel Smalley del grupo de investigación en Electro Holografía dentro del Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática de la Universidad de Brigham Young (Provo, UT) esta desarrollando un medio para utilizar la luz para imprimir gráficos a todo color en el aire.

Los investigadores llaman al tipo de tecnología de pantalla que han creado una pantalla volumétrica de espacio libre. El dispositivo en si se llama una pantalla de captura óptica. La pantalla crea puntos de imagen luminosos en el espacio y se basa en la captura óptica fotoforetica.

Esta pantalla funciona mediante el uso de un conjunto de rayos laser casi invisibles para asilar una pequeña partícula de celulosa en una trampa fotoforetica creada por “aberraciones esféricas y astigmáticas”. La luz laser calienta uniformemente la partícula. Esto a su vez, permite a los investigadores la capacidad de empujar y tirar de la partícula. A medida que se explora la trampa moviendo tanto la trampa como la partícula. A través de un volumen de espacio, la partícula ilumina con luz roja, verde y azul. El punto de imagen así creado tiene un tamaño de aproximadamente 10 micrones.

La visión humana no puede distinguir por separado las imágenes presentadas a una velocidad superior a aproximadamente 10 porsegundo. Como resultado, al mover la partícula lo suficientemente rápido, la persistencia de la visión produce una trayectoria que aparece como una línea.

En su artículo, el investigador explica que “en Términos simples, estamos usando un rayo laser para atrapar una partícula, y luego podemos dirigir el rayo laser para mover la partícula y crear la imagen”.

La imagen tridimensional resultante parece colgar en el espacio libre y puede verse desde cualquier ángulo. Además, se afirma que la imagen tiene una gran gama de colores, presenta detalles finos y tiene un punto aparente bajo.

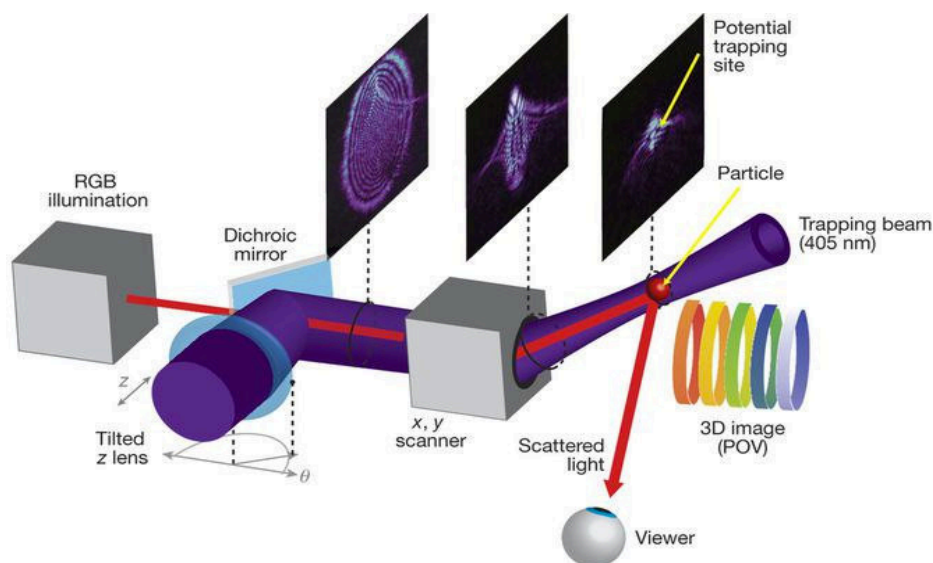


Figura 4.3.1.1 Configuración de la pantalla de la trampa óptica.



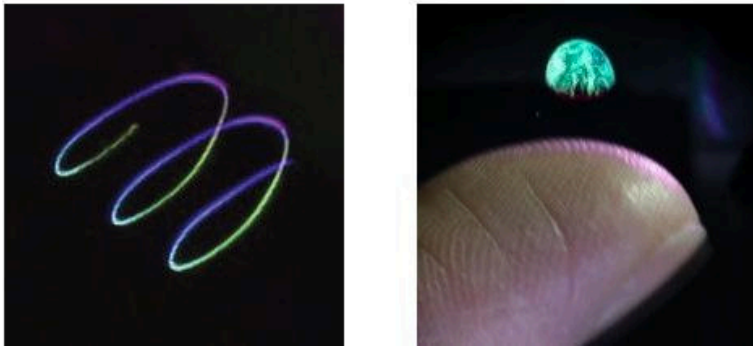


Figura 4.3.1.2 Ilustraciones de objetos gráficos producidos por la pantalla de la trampa óptica.

En este momento, la pantalla de captura óptica solo puede crear imágenes que son muy pequeñas. Este punto es enfatizado por la elección de la figura presentada en la parte inferior derecha de la ilustración de arriba. Los investigadores han expresado la creencia de que, en el futuro, será posible crear imágenes más grandes. Los investigadores señalan dos características declaradas exclusivas de las pantallas volumétricas de espacio libre:

- No están sujetos a recorte. "El recorte restringe la utilidad de todas las pantallas tridimensionales que modulan la luz en una superficie bidimensional con un borde de borde".
- Son capaces de producir geometrías de imagen que actualmente no se pueden obtener con las tecnologías holográficas y de campo de luz. Se hace mención específica a las proyecciones de tiro largo, mesas de arena altas y pantallas envolventes.

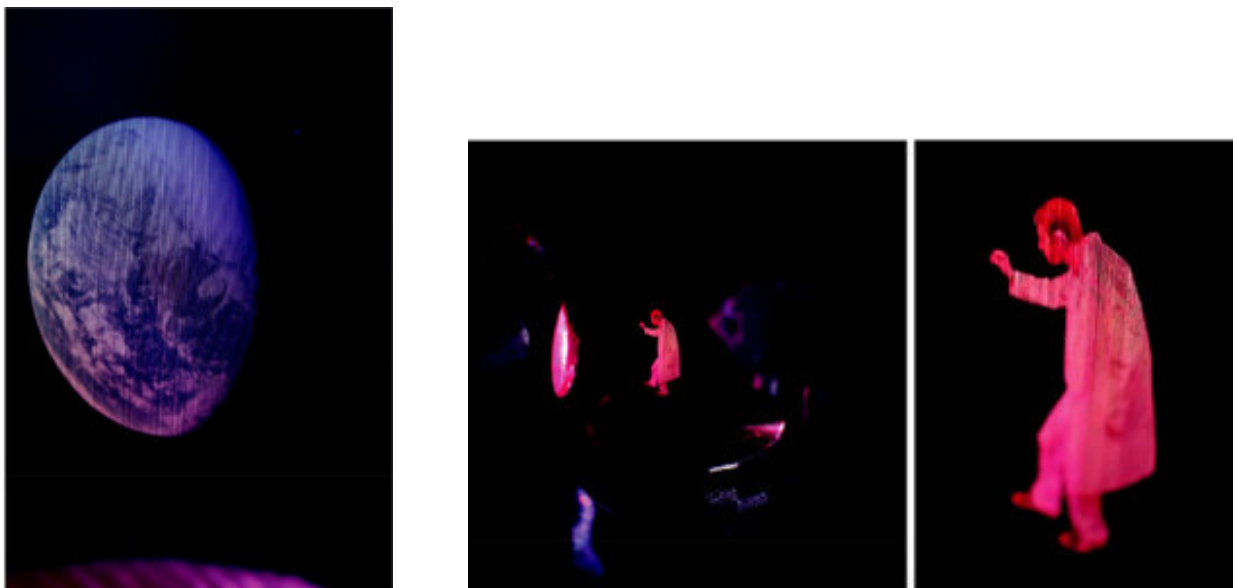


Figura 4.3.1.3

Video: <https://youtu.be/1aAx2uWcENC>

## 5.0. CONCLUSIÓN.

Los sistemas de visualización se remontan al siglo XIX y gracias a la evolución tecnológica se han obtenido diferentes artilugios y aparatos para su visualización hasta la obtención de sistemas de visualización avanzados. Se intenta conseguir la visualización de hologramas desde diferentes ángulos según estudios recientes aunque no se ha conseguido científicamente y experimentalmente lo que las películas actuales (StarWars, Ironman) nos ilustran, pero se está en camino para poder ofrecerlo. Aun queda un arduo camino pero gracias a los sistemas de visualización 3D actuales se ha conseguido avanzar en múltiples campos tanto audiovisuales como científicos y médicos que nos proporcionan una gran ayuda en este siglo XXI.

## 6.0. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- J. Antonio Aznar Casanova. Psicología Básica. Facultad de Psicología Universidad de Barcelona. Fundamentos de la percepción de imágenes 3-D. Recuperado de <http://www.ub.edu/pa1/node/panum>
- J.L. Alvarez/M. Tapias. Tema9. Distancia Visual. UPC Foot. Recuperado de <https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=37015/2010/1/52899/35172-4331.pdf>
- Stereoscopic 3d Technologies, Dr. Roberta Piroddi, Algorithm Engineer, Snell Ltd (Abril 2010). Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/b43e/8b92ae79992096b8a4d9b206ca6705862458.pdf>
- RealD3DTheatrical System, mAtt Cowan (2007). Recuperado de [http://www.edcf.net/edcf\\_docs/real-d.pdf](http://www.edcf.net/edcf_docs/real-d.pdf)
- El blog de El Coleccionista Eclético (23 de Marzo de 2013). Estereoscopios: la ilusión de la imagen tridimensional. Recuperado de <https://elblogdelcoleccionistaeclectico.com/2013/03/24/estereoscopios-la-ilusion-de-la-imagen-tridimensional/>
- CEFOCCA-UNSJ. Documento de Catedra. Fotogrametría. Visión estereoscópica. Recuperado de <ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Fotogrametria/Unidad4/VISION-ESTEREO.pdf>
- Taringa Info. Todo acerca del 3D Anaglífico (7 de Mayo de 2011). Recuperado de [https://www.taringa.net/+info/todo-acerca-del-3d-anaglifico-rojo-cyan-megapost-con-foto\\_wq26o](https://www.taringa.net/+info/todo-acerca-del-3d-anaglifico-rojo-cyan-megapost-con-foto_wq26o)
- Fabio Baccaglioni. ¿Cómo funciona el 3D? (18 de Marzo de 2010). Recuperado de [https://www.tecnogeek.com/verpost.php?id\\_noticia=1143](https://www.tecnogeek.com/verpost.php?id_noticia=1143)
- Nacho Palou. Así es la primera pantalla holográfica en 3D de consumo (25 de Julio de 2018). Recuperado de [https://www.economiadigital.es/tecnologia-y-tendencias/primer-pantalla-holografica-3d-barata\\_568781\\_102.html](https://www.economiadigital.es/tecnologia-y-tendencias/primer-pantalla-holografica-3d-barata_568781_102.html)
- Andrew Jone, Ian MacDowal, Hideshi Yamada, Mark Bolas, Paul Debevec. USC University of Southern California. Rendering for an Interactive 360° Light Field Display. Recuperado de <http://vgl.ict.usc.edu/Research/3DDisplay/>
- Wikipedia. Stereo display. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Stereo\\_display](https://en.wikipedia.org/wiki/Stereo_display)
- Optical Trap Display Technology Under Development (2018). Recuperado de <https://www.displaydaily.com/paid-news/lm/lm-technology/optical-trap-display-technology-under-development>